



TUGAS AKHIR
(KL 1702)

PERENCANAAN ALUR PELAYARAN SELAT MADURA
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SCHIJF



RSke
627.2
Sub
P-1
2002

Oleh :

MAMIK SUHARTONO
NRP : 4397.100.017

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2002

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	2-9-2002
Terima Dari	H
No. Agenda Exp.	216131

PERENCANAAN ALUR PELAYARAN SELAT MADURA DENGAN MENGGUNAKAN METODE SCHIJF

TUGAS AKHIR

Diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Mengetahui / Menyetujui

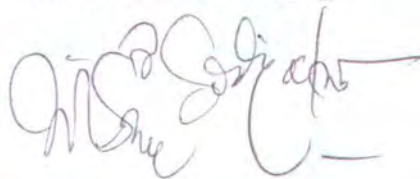
Dosen Pembimbing II,



Ir. Murdjito, MSc.Eng
NIP. 132 149 376



Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Wisnu Wardhana MSc
NIP. 68 001 934

SURABAYA
Agustus, 2002

**“Allah tidak akan
membebani hamba-Nya
kecuali sesuai kadar kemampuannya”**

**“Setiap kesulitan selalu
diapit oleh dua kemudahan”**

**Kupersembahkan karya ini kepada kedua orang tuaku yang tercinta
atas segala pengorbanannya yang tulus ikhlas**



ABSTRAK

ABSTRAK

Tugas akhir ini mengkaji alur pelayaran barat Surabaya (APBS) dimana dari tahun ketahun arus kapal mengalami peningkatan, baik jumlah maupun ukuran kapalnya. Untuk itu diperlukan perencanaan ukuran alur yang memadai sehingga dimasa-masa yang akan datang semua kapal yang akan berlabuh baik di Pelabuhan Gresik maupun Pelabuhan Tanjung Perak dapat berlayar dialur dengan aman. Tujuan Penulisan tugas akhir ini adalah untuk menentukan kedalaman minimal alur pelayaran barat Surabaya dengan pendekatan Schijf untuk kapal tunggal. Dalam menentukan kedalaman minimal alur ini terlebih dahulu dilakukan kajian mengenai besarnya squat (penurunan elevasi kapal) dan kecepatan maksimum kapal ketika berlayar dialur dengan menggunakan pendekatan Schijf. Selain itu juga dilakukan tinjauan mengenai besarnya amplitudo gerak couple heaving-pitching kapal dan dampaknya terhadap penentuan ukuran alur minimal sesuai pendekatan Schijf. Dari hasil perhitungan yang dilakukan dengan pendekatan Schijf diperoleh besarnya squat maksimal kapal untuk lokasi di Tanjung Sawo (section 1) dan Pelabuhan Gresik (section 4) adalah 1,862 m dengan kecepatan maksimal 8 m/s. Untuk lokasi depan Kali Mertani, Kali Mireng, dan Kali Lamong (section 2, 3 dan 5) besarnya squat maksimal kapal adalah 1,31 m dengan kecepatan maksimal 6 m/s. Sedangkan besarnya amplitudo gerak kapal pada section 1 adalah 1,85 m dan pada section 2, 3, 4 dan 5 adalah 0,13 m. Kedalaman minimal alur pelayaran barat Surabaya hasil perhitungan dengan pendekatan Schijf pada section 1 adalah 17,762 m, pada section 2, 3, dan 5 adalah 15,49 m, sedang pada section 4 adalah 16,042 m.

ABSTRACT

Channel waterways is an important aspect for a port. In fact, Tanjung Perak as second big port in Indonesia and located in Madures Sheet channel waterways. Therefore, this channel is an important waterways for the Tanjung Perak Port. The goal of this study is how to determine minimum depth in Madures Sheet channel waterways by using preserved energy methods (Schijf method) and the impact of ship movement for it. The important aspects which determine the minimum depth of the waterway are maximum speed limit of the ship in channel, water level depression (squat), heaving and pitching of the ship, irregularity of sea water, elevation clearance, and channel clearance. At the end of this analysis it can be concluded that minimum the depth of the channel waterway in section 1 (Tanjung Sawo) is 17,762 m and section 4 (Pelabuhan Gresik) is 16,042 m. Therefore the depth of section 1 (20 m) is safe for ship sailing. In section 2 (Kali Mertani), section 3 (Kali Mireng) and section 5 (Kali Lamong) the minimum depth is 15,49 m. Therefore section 2 and 5 (15 m) and section 3 (10 m) is high risk for ship sailing.



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robil Alamin segala puji syukur kehadiran Allah yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “PERENCANAAN ALUR PELAYARAN SELAT MADURA DENGAN METODE SCHIJF”

Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat bagi setiap mahasiswa Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan-ITS untuk menyelesaikan studinya.

Penulis menyadari akan kelemahan dan keterbatasan diri, karenanya penulis ingin menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada semua pihak yang ikut berperan dan membantu penyelesaian tugas akhir ini, terutama kepada :

1. Yang tercinta kedua orang tua penulis, atas dukungan moral, material dan do'anya selama ini.
2. Bapak Dr.Ir. Wisnu Wardhana, MSc dan Bapak Ir. Murdjito, MSc.Eng. selaku dosen pembimbing yang dengan segala kesabaran dan keikhlasannya memberikan bimbingan, pengarahan, waktu serta bantuannya dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr.Ir. P. Indiyono, MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS dan Bapak Dr.Ir. Wahyudi, MSc. Selaku dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan selama menempuh studi di Jurusan Teknik Kelautan-ITS.
4. Anak laut '97 khususnya Geong, Mike, Santo, Faruq, Black, Topeng, Sigit, Jajak, Aries, Haryono, Arief, Abud, Ivans, Ilham, Agus, Junets, Nurin, Wiwin, Retno, Pi'i, Ibu Yuki',Bram, Bom dan Gondrong atas segala bantuan, persahabatan dan pengalaman menyenangkan yang mengesankan selama ini.
5. Seluruh anggota kost GW-!/12 : Lukman, Kang Sabiq, Gufron, Safree, Beanz, Kajad, Kamto, Oyen, mas Andy, Imam, Pugu, dan Anang atas segala pertolongan, keakraban dan kekerabatan yang terjalin semoga tidak pernah pudar.

6. Segenap karyawan jurusan Teknik Kelautan atas bantuan dan kerjasamanya selama ini.
7. seluruh pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu disini, dengan tanpa mengurangi ras hormat.

Penulis menyadari, bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan dimasa mendatang.

Akhir kata semoga tugas akhir ini memberikan manfaat bagi para pembaca sekalian.

Surabaya, Agustus 2002

Mamik Suhartono



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR NOTASI	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	I-1
1.2. Perumusan masalah	I-3
1.3. Tujuan	I-4
1.4. Manfaat	I-4
1.5. Batasan masalah	I-4
1.6. Sistematika penulisan	I-5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1. Alur pelayaran	II-1
2.2. Sistem navigasi	II-7
2.2.1. Gelombang bangkitan primer	II-7
2.2.2. Gelombang bangkitan sekunder	II-13
2.3. Gerakan struktur benda terapung	II-14
2.3.1. Gerak couple Heaving-Pitching	II-16
2.4. Kriteria perencanaan ukuran alur	II-30
2.4.1. Dimensi kapal	II-30
2.4.2. Frekuensi kapal	II-30
2.4.3. Profil penampang alur dan parameter perencanaan	II-32

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram alir	III-1
3.2. Penjelasan	III-2
3.2.1. Perumusan masalah	III-2
3.2.2. Studi literatur	III-2
3.2.3. Pengumpulan data	III-3
3.2.4. Perhitungan dengan metode Schijf	III-3
3.2.5. Perhitungan amplitudo gerak kapal	III-3
3.2.6. Analisa dan pembahasan	III-4
3.2.7. Kesimpulan	III-4

BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa kondisi alur	IV-1
4.2. Hasil perhitungan dengan metode Schijf	IV-3
4.3. Hasil perhitungan couple heaving-pitching kapal	IV-7
4.4. Tinjauan ukuran alur minimal	IV-15
4.4.1. Penentuan lebar alur minimal	IV-15
4.4.2. Penentuan kedalaman alur minimal	IV-15
4.4.3. Parameter perencanaan alur pelayaran	IV-17
4.4.4. Analisa operasional	IV-18

BAB V. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan	V-1
5.2. Saran	V-2

DAFTAR PUSTAKAN

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1. Gerakan squat dan trim kapal di alur	II-8
2. Gambar 2.2. Sistem koordinat metode Schijf	II-9
3. Gambar 2.3. Penampang melintang alur metode Schijf	II-10
4. Gambar 2.4. Gerakan sistem terapung dan sistem koordinat	II-15
5. Gambar 2.5. Grafik koefisien massa tambah gerakan heaving	II-28
6. Gambar 2.6. Grafik amplitudo ratio gerakan heaving	II-29
7. Gambar 2.7. Profile penampung alur	II-35
8. Gambar 3.1. Diagram alir metodologi	III-1
9. Gambar 4.1. Bathymetri alur pelayaran barat Surabaya	IV-2
10. Gambar 4.2. Grafik hubungan antara Vs dengan U dan Z pada Daerah section 1 dan 4	IV-4
11. Gambar 4.3. Grafik hubungan antara Z/h dan $U/(gh)^{1/2}$ dengan $Vs/(gh)^{1/2}$ pada section 1 dan 4	IV-4
12. Gambar 4.4. Grafik hubungan antara Vs dengan U dan Z pada Section 2,3 dan 5	IV-6
13. Gambar 4.5. Grafik hubungan antara Z/h dan $U/(gh)^{1/2}$ dengan $Vs/(gh)^{1/2}$ pada section 2,3 dan 5	IV-6
12. Gambar 4.6. Grafik gerakan heaving kapal (1) pada section 1	IV-8
13. Gambar 4.7. Grafik gerakan pitching kapal (1) pada section 1	IV-8
14. Gambar 4.8. Grafik gerakan heaving kapal (2) pada section 1	IV-9
15. Gambar 4.9. Grafik gerakan pitching kapal (2) pada section 1	IV-10
16. Gambar 4.10. Grafik gerakan heaving kapal (3) pada section 1	IV-11

17.	Gambar 4.11. Grafik gerakan pitching kapal (3) pada section 1	IV-11
18.	Gambar 4.12. Grafik hubungan antara massa kapal dengan gerak heaving kapal pada section 1	IV-12
19.	Gambar 4.13. Grafik hubungan antara massa kapal dengan gerak pitching kapal pada section 1	IV-13
20.	Gambar 4.14. Grafik gerak heaving kapal (1) pada section 2,3 dan 5	IV-14
21.	Gambar 4.15. Grafik gerak pitching kapal (1) pada section 2,3 dan 5	IV-14
22.	Gambar 4.16. Grafik hubungan antara V_s dengan H_{min}/H_o	IV-20





DAFTAR TABEL

DATAR TABEL

1. Tabel 2.1. Standart ukuran kapal di alur	II-30
2. Tabel 2.2. Standart ukuran alur menurut OCDI, 1991	II-34
3. Tabel 4.1. Hasil perhitungan metode Schijf pada section 1 dan 4	IV-3
4. Tabel 4.2. Hasil perhitungan metode Schijf pada section 2,3 dan 5	IV-5
5. Tabel 4.3. Hasil perhitungan couple heaving-pitching kapal (1) pada section 1	IV-8
6. Tabel 4.4. Hasil perhitungan couple heaving-pitching kapal (2) pada section 1	IV-9
7. Tabel 4.5. Hasil perhitungan couple heaving-pitching kapal (3) pada section 1	IV-10
8. Tabel 4.6. Hasil perhitungan couple heaving-pitching kapal (1) pada section 2,3,4 dan 5	IV-13
9. Tabel 4.7. Hasil perhitungan ukuran kedalaman alur minimal	IV-17



DAFTAR NOTASI

DAFTAR NOTASI

Pada perhitungan Squat (Z) dengan metode Schijf

- Ac : penampang basah alur
As : penampang basah kapal
b : lebar tengah kapal
B_o : lebar alur
d : sarat kapal pada midship
h_o : kedalaman awal alur sebelum dipengaruhi gerakan kapal
V_s : kecepatan service kapal
V_{lim} : kecepatan batas layar kapal pada kondisi debit maksimal
U : arus balik pada kapal sepanjang midship
U_{lim} : arus balik maksimal
Z : depresi permukaan air (tinggi squat)
Z_{lim} : depresi permukaan air maksimal

Pada perhitungan gerak heaving-pitching kapal

- a : Massa tambah
A_{yy} : Massa tambah momen inersia gerakan pitching
b : Koefisien damping untuk gerakan heaving
B : Koefisien damping untuk gerakan pitching
B_n : lebar kapal
β_n : Koefisien luasan strip
c : Koefisien gaya pengembali untuk gerakan heaving
C : Koefisien pengembali untuk gerakan pitching
F : gaya eksitasi

g	: percepatan gravitasi
I_{yy}	: massa inersia kapal
m	: massa kapal
S_n	: luasan melintang strip
T_n	: sarat kapal
z	: simpangan heaving struktur
λ	: panjang gelombang
α	: sudut beda phase
θ	: simpangan angular akibat gerakan pitching
ω_e	: frekuensi encountering
ω_n	: frekuensi natural



DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A : Perhitungan Squat (Z) dengan metode Schijf
- Lampiran B : Perhitungan gerak heaving-pitching kapal
- Lampiran C : Prediksi tinggi gelombang di APBS
- Lampiran D : Arus kunjungan kapal, dimensi kapal dan arus barang di Tanjung Perak (1995-1999)



BAB I
PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai Negara kepulauan mempunyai lebih dari 3700 pulau dan pantai sepanjang 80.000 km atau dua kali keliling dunia melalui katulistiwa. Kegiatan pelayaran sangat diperlukan untuk menghubungkan antar pulau, penjagaan wilayah laut, penelitian kelautan, dan sebagainya. Salah satu kegiatan pelayaran terpenting adalah pelayaran niaga yang dibedakan menjadi tiga yaitu: pelayaran lokal, pelayaran nusantara dan pelayaran samudra.

Kapal sebagai sarana pelayaran mempunyai peran yang sangat penting dalam sistem angkutan laut. Hampir semua barang ekspor, impor, dan muatan dalam jumlah yang besar diangkut dengan kapal laut, walaupun diantara tempat-tempat dimana pengangkutan dilakukan terdapat fasilitas angkutan lain yang berupa angkutan darat dan udara. Hal ini mengingat kapal mempunyai kapasitas yang jauh lebih besar daripada sarana angkutan lainnya. Sebagai contoh pengangkutan minyak yang mencapai puluhan bahkan ratusan ribu ton, apabila diangkut dengan truk tangki membutuhkan ribuan kendaraan. Dengan demikian untuk muatan dalam jumlah besar, angkutan dengan kapal akan membutuhkan waktu yang lebih singkat, tenaga kerja lebih sedikit dan biaya lebih murah. Selain itu angkutan barang antar pulau atau negara, kapal merupakan satu-satunya sarana yang paling sesuai.



Untuk mendukung sarana angkutan laut tersebut diperlukan prasara yang berupa pelabuhan. Pelabuhan merupakan tempat pemberhentian (teminal) kapal setelah melakukan pelayaran. Dipelabuhan ini kapal melakukan berbagai kegiatan seperti menaik-turunkan penumpang, bongkar-muat barang, pengisian bahan bakar dan air tawar, melakukan reparasi, mengadakan pebekalan, dan sebagainya. Untuk bisa melaksanakan berbagai kegiatan tersebut pelabuhan harus dilengkapi dengan fasilitas seperti, alur pelayaran, pemecah gelombang, dermaga, peralatan tambatan, peralatan bongkar muat barang, gudang, lapangan penumpukan, perkantoran baik untuk pengelola pelabuhan maupun untuk maskapai pelayaran, ruang tunggu penumpang, perlengkapan pengisian bahan bakar dan penyediaan air bersih, dan sebagainya.

Secara umum kondisi alur pelabuhan sangat menentukan daya tarik pengguna jasa pelabuhan dalam memilih pelabuhan. Apabila kedalaman dan lebar alur terlalu kecil dimensinya maka akan menimbulkan kerugian pada pemilik kapal karena kapal tersebut rawan kecelakaan dan biaya operasional tunggu kapal dipelabuhan tinggi. Sehingga perusahaan pelayaran enggan mengoperasikan kapal-kapalnya yang pada akhirnya akan menghambat perkembangan pelabuhan tersebut. Sebaliknya bila pihak pelabuhan melakukan perencanaan alur dengan kedalaman dan lebar berlebihan, dimana semua kapal yang memakai jasa fasilitas alur dapat berlayar pada berbagai kondisi pasang surut maupun lebar alur yang tersisa maka dibutuhkan biaya yang tidak sedikit. Untuk itu diperlukan studi untuk menentukan kedalaman dan lebar alur pelayaran yang optimum agar semua kapal dapat masuk dengan aman tetapi pihak



pelabuhan tidak memerlukan biaya yang tinggi, sedang pihak pemakai jasa juga tidak perlu biaya yang berlebihan.

Sebagian besar pelabuhan penting di Indonesia berada di muara sungai atau teluk yang terlindung, seperti pelabuhan tanjung perak, Pelabuhan Pontianak, Banjarmasin, dan pelabuhan lainnya. Kapal-kapal yang akan masuk atau keluar dari pelabuhan tersebut diwajibkan menggunakan jasa pandu dan penundaan sebelum menuju kelaat lepas untuk menghindari terjadinya kecelakaan karena berlayar di alur.

Menurut JICA (1995) dalam *“Technical Standart for Port and Harbour Facilities”*, suatu alur yang akan sangat tergantung pada beberapa factor yaitu : sistem navigasi yang aman, kemudahan operasi kapal, topografi, fenomena cuaca dan laut, dan koordinasi dengan sarana-sarana lainnya.

Penulisan tugas akhir ini meliputi pengkajian untuk mengetahui kebutuhan ukuran alur pelayaran berdasarkan pertumbuhan arus kunjungan kapal dan arus barang di suatu pelabuhan, kemudian melakukan perencanaan geometri alur pelayaran yang ditujukan untuk mengakomodasi kebutuhan manuver kapal saat berada di alur.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan ditinjau dalam tugas akhir ini dirumuskan sebagai berikut :

1. Berapakah kedalaman minimal alur pelayaran dengan menggunakan metode Schijf untuk alur pelayaran barat Surabaya ?



2. Bagaimanakah pengaruh gerakan couple heaving-pitching kapal dalam penentuan ukuran alur minimal sesuai pendekatan Schijf ?

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan Tugas Akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui kedalaman minimal alur pelayaran dengan menggunakan metode Schijf pada alur pelayaran barat Surabaya.
2. Untuk mengetahui pengaruh gerakan couple heaving-pitching kapal dalam penentuan ukuran alur minimal sesuai pendekatan Schijf.

1.4. Manfaat

Manfaat dari penulisan Tugas akhir ini adalah untuk memberikan acuan mengenai penentuan kedalaman alur pelayaran barat Surabaya sehingga diperoleh keadaan yang paling menguntungkan, baik pihak pelabuhan maupun pihak pemakai jasa pelabuhan tersebut.

1.5. Batasan masalah

Agar dalam melakukan analisa tidak terlalu melebar maka perlu batasan-batasan sebagai berikut :

- a. Alur yang direncanakan adalah untuk satu jalur sehingga tidak ada kondisi bersimpangan (*encountering*) dan menyalip (*overtaking*).



- b. Studi difokuskan pada aspek gerakan kapal karena *squat* sedangkan gerak kapal karena gelombang yang diperhitungkan adalah *heaving* dan *pitching*.
- c. Distribusi arus kunjungan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak pada masa yang akan datang dianggap sama dengan kondisi saat ini. Analisis ini didasarkan atas data kunjungan kapal tahunan selama lima tahun terakhir.

1.6. Sistematika penulisan

Untuk menyelesaikan penulisan tugas akhir ini, telah disusun sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab I. Pendahuluan

Menguraikan tentang dasar pemikiran dan latar belakang yang melandasi tugas akhir ini, perumusan dan batasan masalah serta tujuan yang hendak dicapai.

Bab II. Tinjauan pustaka dan dasar teori

Bab ini akan menguraikan mengenai perkembangan kajian kriteria perencanaan ukuran alur pelayaran khususnya yang berhubungan dengan pendekatan Schijf. Selain itu juga berisi formulasi perhitungan gerak kapal di alur dan kriteria alur dari berbagai konsep design kriteria.

Bab III. Metodologi penelitian

Dalam bab ini berisi urutan langkah penyelesaian tugas akhir ini, mulai dari studi literatur sampai kesimpulan.



Bab. IV. Analisa dan pembahasan

Dalam bab ini diuraikan mengenai perhitungan dan analisa data berikut dengan grafik-grafik yang diperoleh dari perhitungan. Selain itu disajikan pula analisa perhitungan kriteria design dari alur yang sudah ada.

Bab.V. Penutup

Dalam bab ini berisi kesimpulan hasil perhitungan dan saran-saran untuk kemajuan kualitas alur pelayaran.



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Alur pelayaran

Alur pelayaran digunakan untuk mengarahkan kapal-kapal yang akan masuk ke kolam pelabuhan. Alur pelayaran dan kolam pelabuhan harus tenang terhadap pengaruh gelombang dan arus. Perencanaan alur pelayaran didasarkan pada dimensi kapal terbesar yang akan melewati alur pelabuhan serta gelombang dan arus akibat gerakan yang ditimbulkan pada saat kapal melewati alur pelayaran. secara umum ada beberapa daerah yang dilewati kapal selama perjalanan masuk pelabuhan yaitu 1) daerah tempat kapal membuang sauh diluar pelabuhan, 2) daerah pendekatan diluar alur masuk, 3) alur masuk diluar pelabuhan dan kemudian didalam daerah terlindung, 4) saluran menuju dermaga apabila pelabuhan didalam daratan, 5) kolam putar (Triadmodjo, 1996).

Sebuah kapal dengan kecepatan tetap akan jelas memindahkan sejumlah air. Selama pelayaran sejumlah air disekeliling haluan kapal akan dipindahkan sedangkan pada waktu yang sama dengan jumlah air yang sama pasti disuplay pada bagian belakang kapal. *Displacement* akan menyebabkan arus sepanjang perjalanan kapal dimana arahnya berlawanan dengan arah pelayaran kapal tersebut. Peristiwa ini disebut arus balik yang saling berhubungan dengan *water level depression* di sekeliling kapal. *Water level depression* dan arus balik bersamam membentuk gerakan air primer. Sedangkan gerakan air sekunder terdiri dari gelombang-gelombang



yang disebabkan oleh kapal. Tinggi gelombang tersebut sangat ditentukan oleh kecepatan kapal, tetapi juga dipengaruhi bentuk dan ukuran utama kapal. Kemudian pergerakan air sekunder sangat dipengaruhi oleh tingkat gerakan air primer. Secara umum dapat dikatakan bahwa pengaruh gelombang yang disebabkan kapal akan mengurangi arus balik dan memperbesar *water level depression*. Dalam alur ini kapal yang lebih kecil dan lebih cepat biasanya bertanggung jawab untuk erosi pada pinggir alur karena gelombang sekunder, sedangkan kapal yang lebih besar dan lebih lambat menyebabkan erosi karena arus balik. kedua gerakan air diatas (arus balik dan *water level depression*) akan mempengaruhi penentuan dimensi alur pelayaran (Groenveld, 1997).

Bindra (1978) memberikan rumusan dalam menentukan kedalaman alur pelayaran sebagai berikut :

$$D = D' + H/3 + D''$$

Dimana :

D' = Draft kapal terbesar yang melalui alur tersebut.

H = Tinggi gelombang di alur.

D'' = Squat (penurunan elevasi kapal)

The Permanent International Association of Navigational Congresses (PIANC) (Bruun, 1981) merekomendasikan bahwa design kedalaman minimum seharusnya mengikuti draft kapal ditambah 5 sampai 8 feet. selain itu kriteria ini berguna untuk memperkirakan kedalaman saluran, perhitungan kedalaman yang diinginkan berdasarkan penjumlahan beberapa factor dibawah ini yaitu :



- a) draft kapal pada keadaan beban penuh
- b) pasang surut
- c) perubahan densitas
- d) squat
- e) gerakan kapal pitching dan rolling
- f) trim
- g) factor empiris

Menurut Kramadibrata (1985) ukuran lebar alur dibedakan menjadi dua yaitu alur tunggal (satu jalur) dan alur ganda (dua jalur). pada alur untuk satu jalur (tidak ada simpangan) lebar alur adalah 3-4 kali lebar kapal, jika kapal boleh bersimpangan lebar alur adalah 6-7 kali lebar kapal.

Mv.d. Doel (Widyastuti, 1991) memberikan pendapat bahwa kedalaman perairan alur dipengaruhi oleh beberapa factor yaitu :

- a. keadaan pasang surut air laut
- b. ukuran draft kapal
- c. gerakan kapal akibat pengaruh gelombang, angin dan arus
- d. squat dan trim
- e. sedimentasi
- f. kesalahan sounding
- g. toleransi dredging
- h. jarak bersih lunas kapal terhadap dasar alur



Triadmodjo (1996) memberikan rumusan untuk menentukan kedalaman alur pelayaran sebagai berikut :

$$H = d + G + R + P + S + K$$

dimana d adalah draft kapal, G gerak vertical kapal karena gelombang dan squat, R ruang kebebasan bersih, P ketelitian pengukuran, S pengendapan sedimen antara dua pengerukan dan K toleransi pengerukan.

Menurut Groenveld (1997) untuk menentukan lebar alur pelayaran yang diinginkan akan mengikuti navigasi sepanjang garis kanal, garis tengah kanal, manuver kapal pada saat bertemu dan berdampungan, dan area dengan frekuensi angin tinggi.

Thorensen (1988) mengelompokkan alur pelayaran (*channel water ways*) didalam empat klasifikasi yaitu:

- a) Group A : Alur pelayaran utama dimana tersedia alat navigasi siang dan malam, juga tersedia jaminan informasi kedalaman secara akurat.
- b) Group B : sama seperti klasifikasi group A, tetapi hanya tersedia rambu navigasi untuk siang hari.
- c) Group C : Pada alur-alur penting tersedia rambu navigasi dan kedalaman alur dilakukan survey secara teratur.
- d) Group D : alur pelayaran lokal yang tidak mempunyai rambu navigasi dan kedalaman hanya berdasarkan estimasi

Kemudian Thorensen juga menggolongkan alur pelayaran berdasarkan kondisi fisik lingkungan yang terbagi atas tiga kelompok yaitu :



- 1) *Unrestricted channel* : alur di perairan dangkal dengan lebar alur minimum 10 s/d 15 kali lebar kapal terbesar tanpa perlu melakukan pengerukan.
- 2) *Semi restricted channel* : alur diperairan dangkal pendalaman dengan lebar yang cukup besar, tapi untuk pendalaman diperlukan pengerukan.
- 3) *Fully restricted channel* : alur pelayaran yang sepenuhnya dilakukan pengerukan.

Lay-out umum dari alur pelayaran dirancang sedemikian rupa sehingga kapal dapat melakukan pelayaran hingga tingkat derajat keselamatan tertentu terhadap pengaruh lingkungan seperti pasang surut, hembusan angin, perubahan fluktuasi muka air laut dan pengaruh hempasan gelombang.

Jika dimungkinkan sudut resultante antara arah angin dan arus dengan orientasi alur dibuat sekecil mungkin. Demikian juga dengan jumlah belokan alur dan sudut defleksi alur supaya dibuat seminim mungkin untuk memudahkan kapal melakukan navigasi dan manuver. Selain itu alur lebih baik berada pada lingkungan dengan kondisi perairan secara alami cukup dalam sehingga kebutuhan biaya pengerukan untuk perawatan alur dapat diminimalkan. Demikian juga, pengaruh dari transport sediment serta erosi pada alur bila mungkin pengaruhnya direduksi sekecil mungkin (PIANC, 1985).

Keberadaan alur pelayaran dan kolam labuh yang memadai sangat penting peranannya bagi suatu pelabuhan. Alur dan kolam labuh merupakan suatu bagian fasilitas utama pelabuhan, yang termasuk dalam fasilitas air. Oleh karena itu ukuran kapal sangat menentukan ukuran alur dan kolam labuh pada suatu pelabuhan, maka



proyeksi dimensi kapal yang memungkinkan singgah di suatu pelabuhan sangat besar perannya dalam menentukan ukuran alur.

Disamping ukuran kapal sebagai faktor penting dalam menentukan ukuran alur, gerakan kapal seperti heaving dan pitching juga berperan penting agar dapat memenuhi kriteria (Groenveld, 1997). Untuk itu sering ukuran kedalaman alur dibedakan antara didalam kolam labuh dengan diluar kolam labuh. Kedalaman alur di luar kolam labuh umumnya lebih besar dibandingkan didalam kolam labuh (Bruun, 1981). Hal ini dikarenakan diluar kolam labuh amplitude gerakan pitching kapal sebagai akibat gelombang atau gerakan air lebih besar dibandingkan gerakan pitching kapal didalam kolam labuh yang terlindung dari gelombang dan pengaruh angin di sekelilingnya.

Hans Moes (Murdjito, 2001) mengatakan bahwa perencanaan yang optimum ukuran alur pelabuhan menuntut adanya penataan struktur fasilitas pelabuhan dan ukurannya dalam cara *cost-effective*. Hal ini berarti harus ada keseimbangan ekonomis antara biaya konstruksi, perawatan, operasional, dan resiko operasi pelabuhan. Biaya konstruksi dan perawatan alur pelabuhan merupakan bagian penting dalam struktur biaya keseluruhan pembangunan dan operasional pelabuhan.

Disisi lain, biaya yang ditimbulkan akibat kapal kandas atau kecelakaan sebagai akibat dari ukuran alur yang tidak memadai juga cukup besar baik biaya akibat langsung hilangnya nilai investasi maupun biaya dari dampak akibat kecelakaan tersebut. Hal ini menuntut ukuran alur minimum yang aman untuk operasional kapal dalam segala kondisi. Dalam pertimbangan perencanaan ukuran alur yang optimum, juga aspek waktu tunggu kapal sebagai akibat terbatasnya ukuran



alur perlu dipertimbangkan. Hal ini tidak hanya berdampak langsung pada biaya operasional kapal karena waktu tunggu, akan tetapi juga perlu dipertimbangkan biaya utilisasi fasilitas pelabuhan karena tingkat tambatan dan infrastruktur pelabuhan yang rendah.

Dari pertimbangan diatas jelaslah bahwa bahwa tuntutan perencanaan alur yang optimal menjadi harapan semua pihak pengguna jasa pelabuhan, seperti : perusahaan pelayaran, operator, pengirim barang, dan lain-lain. Kebutuhan optimasi perencanaan kedalaman alur sudah pernah dicetuskan pada tahun 70-an oleh Massie Bijker (Murdjito, 2001).

2.2 Sistem navigasi

Sebagai akibat dari kecepatan layer kapal akan menimbulkan gelombang bangkitan pada air yang dilewati, yang dibedakan atas gerakan air primer (gelombang bangkitan utama) dan gerakan air sekunder (gelombang bangkitan sekunder)(Groenveld, 1997). Pada bagian ini akan dibahas latar belakang teori gelombang bangkitan akibat kecepatan kapal, yang merupakan salah satu aspek dalam penentuan ukuran alur yang optimal.

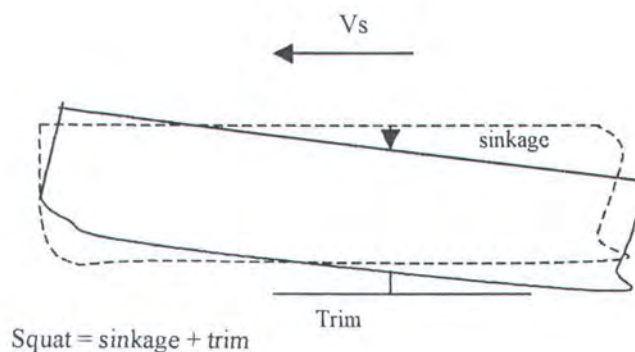
2.2.1 Gelombang bangkitan primer

Displacement kapal akan menimbulkan aliran fluida (arus air) sepanjang sisi dan bagian bawah kapal dengan arah yang berlawanan dengan arah kecepatan gerak kapal. Hal ini sebagai akibat dari depresi permukaan air yang ditimbulkan oleh

displacement dan kecepatan kapal. Fenomena ini lebih dikenal sebagai gerakan air utama akibat kecepatan kapal atau gelombang bangkitan primer akibat kecepatan kapal.

Dalam tugas akhir ini fenomena gelombang primer dianalisa dengan pendekatan kekekalan energi atau metode Schijf (1949). Dalam metode Schijf ini perhitungan dilakukan terhadap penurunan permukaan air (*water level depression*) dan arus balik (*return current*) (Groenveld, 1997).

Akibat depresi permukaan menimbulkan penurunan elevasi pada kapal (*sinkage*). Penurunan elevasi ini berbeda untuk bagian buritan kapal dengan bagian haluan kapal, sehingga kapal menjadi *trim*. Kombinasi dari *sinkage* dengan *trim* ini sering disebut *squat*. Dengan timbulnya *squat*, maka permukaan air menjadi turun sehingga kedalaman alur menjadi berkurang. Hal ini dapat menimbulkan kapal kandas, karena kedalaman alur yang terbatas. Pola gerak kapal dapat dilihat dalam gambar berikut :



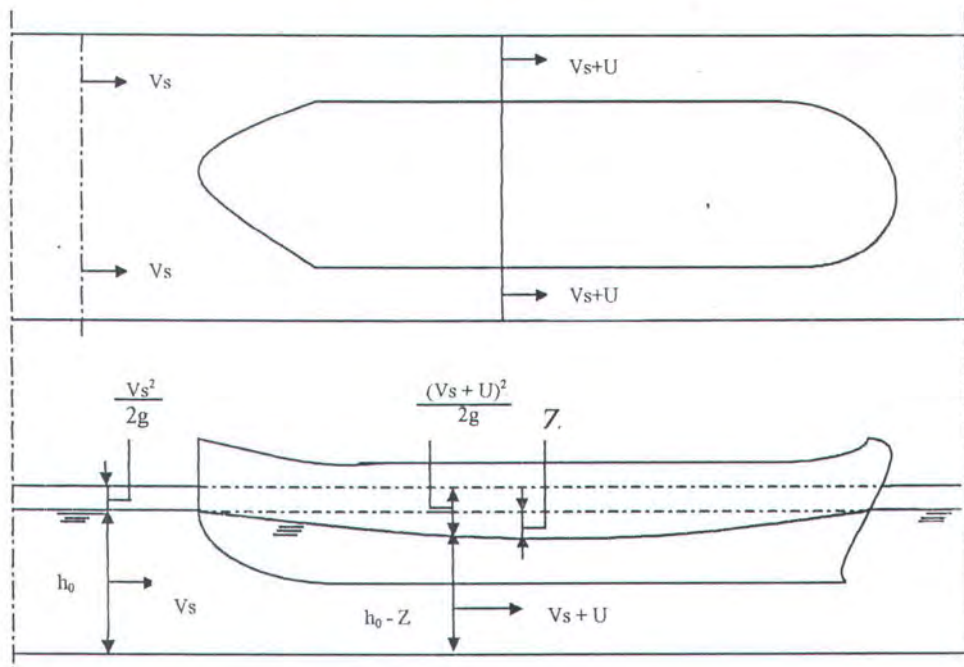
Gambar 2.1. Gerakan Squat dan trim kapal di alur



Pendekatan Schijf mengacu pada asumsi-asumsi sebagai berikut :

- Penampang alur dianggap prismatic lurus dengan panjang yang tak terbatas.
- Penampang melintang kapal dianggap sama sepanjang kapal.
- Kecepatan kapal konstan.
- Depresi permukaan air dianggap sama untuk seluruh lebar alur.
- Penurunan elevasi kapal dianggap sama dengan depresi permukaan air.

Pendekatan Schijf ini dapat diilustrasikan dalam gambar berikut :



Gambar 2.2. Sistem koordinat metode Schijf

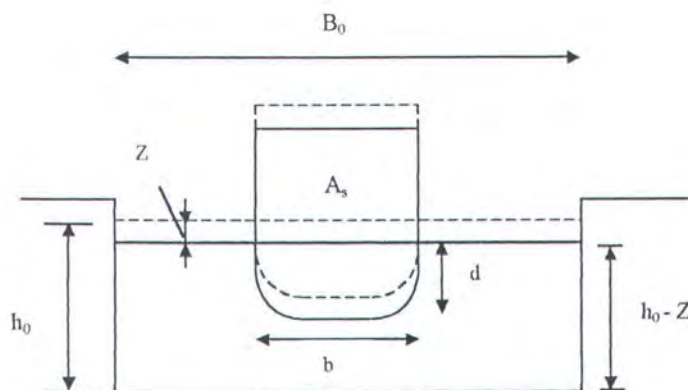
Dimana :

A_c : penampang basah alur

A_s : penampang basah kapal

- h_0 : kedalaman awal alur sebelum dipengaruhi gerakan kapal
 B_0 : lebar alur
 b : lebar tengah kapal (midship)
 d : sarat air kapal pada midship
 V_s : kecepatan service kapal
 Z : maksimum depresi permukaan air (tinggi squat)
 U : maksimum arus balik sepanjang kapl pada midship

Skema penampang melintang alur dan kapal adalah sebagai berikut:



Gamabar 2.3. Penampang melintang alur metode Schijf

Dengan hukum kekekalan energi seperti yang diturunkan oleh persamaan Bernoulli untuk aliran fluida, maka didapat hubungan antara parameter-parameter untuk persamaaan tidak berdimensi (*dimensionless*), sebagai berikut (Groenveld, 1997) :



$$1 - \frac{A}{Ac} - \frac{1}{2} \frac{V_s^2}{gh} \left[\left\{ 1 - \frac{U/\sqrt{gh}}{V_s/\sqrt{gh}} \right\} - 1 \right]^2 - \left[1 + \frac{U/\sqrt{gh}}{V_s/\sqrt{gh}} \right]^{-1} = 0 \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

kondisi maksimum debit didapat jika :

$$Z = \frac{(V_s + U)^2}{2g} + \frac{V_s^2}{2g} = \frac{V_s U}{g} + \frac{U^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Kemudian persamaan debit aliran kondisi maksimum :

$$Q_{ma} = V_{lim} \times Ac = (V_{lim} + U)(Ac - As - B_0 \cdot Z) \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

V_{lim} : kecepatan batas layer kapal pada kondisi debit maksimum

U_{lim} : kecepatan arus maksimum

Z_{lim} : depresi permukaan air maksimum

Jika Fr adalah angka Froude untuk kondisi berikut :

$$Fr = \frac{V_{lim}}{\sqrt{gh}} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Z dieliminasi , akan diperoleh :

$$1 - \frac{As}{Ac} + \frac{1}{2} Fr^2 - \frac{3}{2} Fr^{3/2} = 0 \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk nilai ekstrim $As/Ac = 0$ maupun $As/Ac = 1$ mengikuti pedoman :



$$As/Ac = 0 \longrightarrow Fr = 1 \longrightarrow V_{lim} = \sqrt{gh}$$

$$As/Ac = 1 \longrightarrow Fr = 0 \longrightarrow V_{lim} = 0$$

Ini berarti bahwa lebar yang tak terbatas, sebuah kapal mampu berlayar pada kecepatan maksimum sama dengan kecepatan gelombang diperairan dangkal. Harga As/Ac antara 0,1 sampai 0,3 sering digunakan untuk alur pelayaran daerah pedalaman.

Untuk pelayaran pada kecepatan terbatas maka *water level depression* dan arus balik :

$$\frac{Z_{lim}}{h} = \frac{1}{3} \left[1 - \frac{As}{Ac} - \frac{V_{lim}}{gh} \right] \dots\dots\dots(2.6)$$

dan

$$\frac{U_{lim}}{\sqrt{gh}} = \left\{ \frac{2}{3} \left(1 - \frac{As}{Ac} + \frac{1}{2} \frac{V_{lim}^2}{gh} \right) \right\}^{1/2} - \frac{V_{lim}}{\sqrt{gh}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Hasil test (Delft Hydroulics, 1953) ternyata tidak sama dengan teori, sehingga diperlukan faktor koreksi α yang dimasukkan kedalam persamaan (2) :

$$Z = \alpha \frac{(Vs + U)^2}{2g} - \frac{Vs^2}{2g} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana nilai faktor koreksi α dapat dihitung dengan rumus :

$$\alpha = 1,4 - 0,4 \frac{Vs}{V_{lim}} \dots\dots\dots(2.9)$$

penyelesaian persamaan diatas dapat dilakkukan dengan menggunakan grafik dari Schijf.



2.2.2 Gelombang bangkitan sekunder

Pada saat kapal berlayar di alur dengan kecepatan tertentu akan menimbulkan gelombang bangkitan yang berbeda disisi kapal dan di belakang kapal. Fenomena ini disebut gelombang bangkitan sekunder atau gerakan air sekunder (*secondary water movement*). Gelombang bangkitan ini berupa gelombang divergen (*divergent wave*) yang banyak menjalar disisi kapal dengan arah ke luar atau menuju tepian dan gelombang transversal (*transversal wave*) yang ditimbulkan oleh putaran propeller di bagian buritan kapal. Pada waktu gelombang menjalar secara simultan maka akan terjadi pertemuan gelombang yang membentuk puncak/*culp*.

Berdasar hasil test laboratorium di *Waterloopkundig Laboratorium* di Delft perkiraan tinggi gelombang maksimum yang terjadi dari interferensi puncak gelombang adalah sebagai berikut (Groenveld, 1997) :

$$\frac{H_i}{V_s^2/2g} = 2\alpha_i (y'/ho)^{-0,33} \cdot (V_s / \sqrt{g \cdot ho})^{0,67} \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana :

H_i : tinggi gelombang puncak

y' : jarak dari sisi kapal

α_i : koefisien yang tergantung pada bentuk kapal $\sim 0,80$ untuk kapal bermuatan

Sedangkan tinggi gelombang untuk gelombang transversal dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Groenveld, 1997) :



$$\frac{H_i}{h_o} = \alpha_i (x' / h_o)^{-0.5} (V_s / \sqrt{g h_o})^3 \dots\dots\dots (2.11)$$

atau dalam bentuk yang lebih sederhana :

$$H_i = \gamma_t \frac{V_s^2}{g} \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :

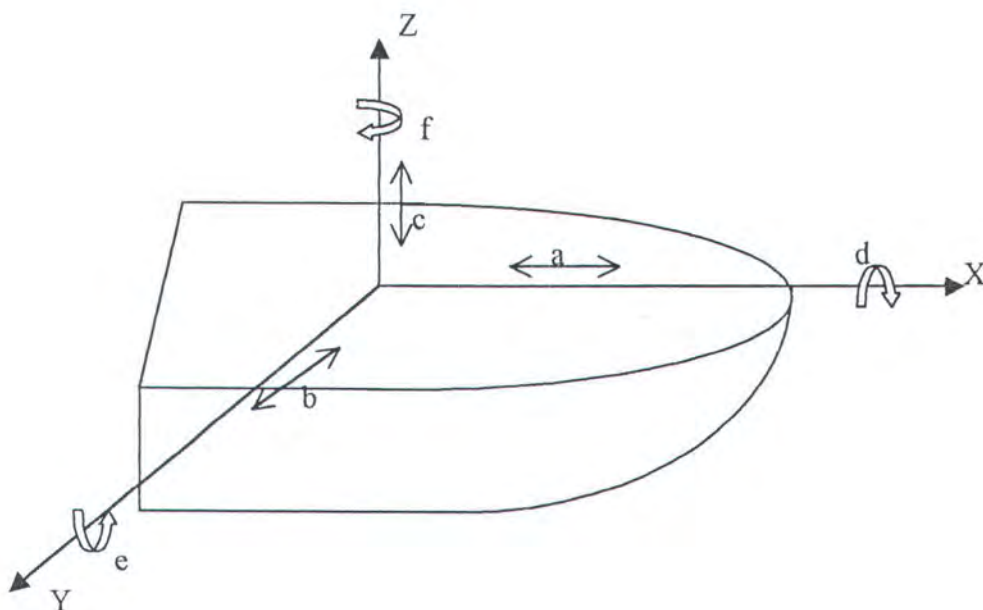
- H_t : tinggi gelombang transversal
- X' : jarak dibelakang kapal
- γ_t : koefisien transversal ~0,154.

2.3 Gerakan struktur benda terapung

Setiap struktur terapung yang bergerak diatas permukaan laut selalu mengalami gerakan osilasi. Gerakan osilasi ini terdiri dari 6 macam gerakan yaitu 3 macam gerakan lateral dan 3 macam gerakan rotasional. Macam-macam gerakan kapal itu meliputi (Bhattacharyya, 1978) :

- a. Surging : gerakan osilasi lateral terhadap sumbu X.
- b. Swaying : gerakan osilasi lateral terhadap sumbu Y.
- c. Heaving : gerakan osilasi lateral terhadap sumbu Z.
- d. Rolling : gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu X.
- e. Pitching : gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu Y.

f. Yawing : gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu Z.



Gambar 2.4. Gerakan system terapung dan system koordinat

Hanya 3 macam gerakan merupakan gerakan osilasi 'murni', yaitu heaving, rolling, dan pitching, karena gerakan ini bekerja dibawah gaya atau momen pengembali ketika struktur itu terganggu dari posisi kesetimbangannya.

Untuk gerakan surging, swaying, dan yawing struktur tidak kembali menuju posisi kesetimbangannya semula bila mengalami gangguan, kecuali ada gaya atau momen pengembali yang menyebabkan bekerja dalam arah berlawanan.

Dalam kenyataannya keenam gerakan itu bergerak secara bersama-sama, jadi setiap satu macam gerakan tidaklah berdiri sendiri-sendiri. Untuk penulisan tugas akhir ini hanya akan dibahas gerakan kapal couple heaving pitching saja.



2.3.1. Gerakan couple heaving pitching

Untuk menghitung elevasi bangunan apung terhadap MWL akibat kopel heaving dan pitching maka digunakan teori strip dimana sebuah benda terapung dibagi secara transversal menjadi beberapa bagian yang selanjutnya disebut sebagai strip.

Berdasarkan hukum Newton II maka semua gaya yang bekerja pada sebuah benda (strip) adalah sama dengan perkalian antara massa strip terhadap percepatannya.

$$\text{Persamaan untuk heaving} \quad : \quad m \cdot \ddot{z} = \sum F \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\text{Persamaan untuk pitching} \quad : \quad I \cdot \ddot{\theta} = \sum M \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

$\sum F$ = jumlah gaya fluida

$\sum M$ = jumlah momen gaya yang bekerja pada strip akibat gerak relatif terhadap gelombang.

Adanya massa tambah pada suatu benda yang bergerak relatif terhadap fluida maka persamaan (2.15) diatas dapat ditulis kembali menjadi :

$$\sum F = (m + m_a) \cdot \ddot{z} \quad \dots\dots\dots(2.15)$$



dimana : m = massa strip

m_a = massa tambah strip untuk gerakan heaving.

Pergerakan suatu benda didalam fluida akan mengalami gaya reaksi akibat tahanan hidrodinamik yang dikenal sebagai gaya damping atau gaya redaman :

$$cz = (m + m_a) \ddot{z} + b \dot{z} \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana : b = koefisien gaya redaman

c = koefisien gaya pengembali.

Jika diasumsikan bahwa strip mendapat beban gelombang dengan amplitudo ζ_a maka akan terjadi perubahan gaya inersia karena adanya perubahan sarat. Perubahan sarat tersebut berlangsung secara kontinyu dan mengakibatkan adanya exciting force, sehingga persamaan heaving menjadi :

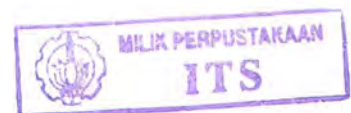
$$m\ddot{z} = F = m(-\ddot{z} + \ddot{\zeta}) + b(-\dot{z} + \dot{\zeta}) + c(-z + \zeta) \dots\dots\dots(2.17)$$

atau

$$(m + m_a) \ddot{z} + b \dot{z} + cz = m \ddot{\zeta} + b \dot{\zeta} + c \zeta \dots\dots\dots(2.28)$$

dimana : $\ddot{\zeta}$ = percepatan fluida

$\dot{\zeta}$ = kecepatan fluida





ζ = displacemen fluida

Ruas kanan pada persamaan (2.20) diatas disebut sebagai exciting force.

Posisi absolute setiap titik spanjang benda yang dinyatakan dalam $z-\zeta\theta$ dan posisi relative strip terhadap gelombang dinyatakan pada : $z_r = z - \zeta\theta - \zeta$. untuk mendapatkan kecepatan relative persamaan diatas dapat diturunkan menjadi :

$$w_r = \dot{z}_r = \dot{z} - (\dot{\zeta}\theta + \zeta\dot{\theta}) - \dot{\zeta} \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

apabila strip tersebut memiliki kecepatan u maka :

$$d\zeta/dt = \dot{\zeta} = -u \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

sehingga percepatan relatifnya menjadi :

$$w_r = \ddot{z} - \dot{\zeta}\ddot{\theta} - \dot{\theta}(-u) + u\dot{\theta} - \ddot{\zeta} \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

$$= \ddot{z} - \dot{\zeta}\ddot{\theta} + 2u\dot{\theta} - \ddot{\zeta} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

Berdasarkan persamaan-persamaan dasar diatas maka akan terdapat gaya geser diantara masing-masing strip. Besar gaya geser tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :

$$\frac{\delta f_n}{\delta \xi} = -m_n \ddot{z}_n - \left(a_n w_r + b_n \dot{w}_r \right) - c_n z_r \quad \dots\dots\dots(2.23)$$



dimana : $m_n \ddot{z}_n$ = gaya inersia akibat percepatan massa strip.

$a_n \dot{w}_r$ = gaya hidrodinamika akibat percepatan massa tambah.

$b_n \dot{w}_r$ = gaya damping akibat kecepatan relative.

$c_n z_r$ = gaya hidrostatik akibat perubahan posisi.

$$\begin{aligned} \text{Jika : } \frac{d(a_n \dot{w}_r)}{dt} &= \dot{w}_r \frac{da_n}{dt} + a_n \frac{d\dot{w}_r}{dt} \\ &= \dot{w}_r \frac{da_n}{dt} + a_n \dot{w}_r \dots\dots\dots(2.24) \end{aligned}$$

maka persamaan (2.25) dapat ditulis kembali menjadi :

$$\frac{\delta f_n}{\delta \xi} = -m_n \ddot{z}_n - a_n \dot{w}_r - \left(b_n + \frac{da_n}{dt} \right) \dot{w}_r - c_n z_r \dots\dots\dots(2.25)$$

Agar diperoleh gaya sepanjang benda, diperlukan penjumlahan gaya pada setiap strip yang dinyatakan dalam bentuk :

$$\frac{\delta f_n}{dt} dx = 0 \dots\dots\dots(2.26)$$

displacement horizontal yang terjadi adalah :

$$x = \xi + ut \dots\dots\dots(2.27)$$



dimana u adalah displacement antara sumbu utama dengan titik pangkal benda.

Untuk waktu t tertentu, u akan konstan sehingga :

$$dx = d\xi + d(ut) = d\xi \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

untuk mendapatkan penjumlahan gaya, persamaan (2.27) diintegrasikan menjadi :

$$-\int \frac{\partial}{\partial \xi} d\xi = \int m_n \ddot{z}_n d\xi + \int a_n \dot{w}_r d\xi + \left(\int b_n w_r d\xi - u \int \frac{da_n}{d\xi} w_r d\xi \right) + \int c_n z_r d\xi \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

dimana :

$$\ddot{z}_n = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} \quad \dots\dots\dots(2.30a)$$

$$z_r = z - \xi \theta - \zeta \ell^{-kz} \quad \dots\dots\dots(2.30b)$$

e^{-kz} = faktor penurunan tekanan.

Sehingga diperoleh persamaan kecepatan relative dan percepatan relative baru sebagai berikut :

$$w_r = \frac{dz_r}{dt} = \dot{z} - \xi \dot{\theta} + u \dot{\theta} - \dot{\zeta} \ell^{-kz} \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

$$\dot{w}_r = dw_r / dt = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \ddot{\theta} - \ddot{\zeta} \ell^{-kz} \quad \dots\dots\dots(2.32)$$

Untuk penyederhanaan, suku-suku gerakan absolute kapal ($z, \dot{z}, \ddot{z}, \theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$)

Dipisahkan dari suku-suku gerakan gelombang $(\xi, \dot{\xi}, \ddot{\xi})$. Ruas kiri persamaan menyatakan respon natural pada displacement awal dalam *still water* dan ruas kanan menyatakan kondisi gelombang yang disebut *force function*. Substitusi z_r , w_r , dan \ddot{z}_n dari persamaan (2.31a) diperoleh :

$$m_n(\ddot{z} - \xi \ddot{\theta}) + a_n(\ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u\dot{\theta}) + b_n(\dot{z} - \xi \dot{\theta} + u\theta) - \frac{da_n}{d\xi}(\dot{z} - \xi \dot{\theta} + u\theta) + c_n(z - \xi \theta) \\ = \ddot{\xi} \ell^{-kz} a_n - \dot{\xi} \ell^{-kz} b_n - u \frac{da_n}{dt} \xi \ell^{-kz} + \xi \ell^{-kz} c_n \quad \dots\dots\dots(2.33)$$

Pada persamaan (2.33) diatas, ruas kanan menyatakan *exciting force* untuk masing-masing strip yang disebabkan oleh gelombang df/dx . Dengan mengasumsikan gelombang reguler dan harmonik maka dengan mensubstitusikan formulasi $x = \xi + ut$ kedalam persamaan diatas maka :

$$\xi = \zeta a \cdot \sin.k(\xi + (u + Vw)t) \quad \dots\dots\dots(2.34)$$

Jika $\boxed{-k(u - Vw) = \omega_e}$ dan ω_e merupakan frekuensi encounter maka kecepatan dan percepatan elevasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\xi = \zeta a \cdot \sin(k\xi - \omega \cdot \ell t) \quad \dots\dots\dots(2.35)$$

$$\dot{\xi} = -\zeta \cdot a \cdot \omega \cdot \ell \cdot \cos(k\xi - \omega \cdot \ell t) \quad \dots\dots\dots(2.36)$$

$$\ddot{\xi} = -\zeta \cdot a \cdot \omega \cdot \ell^2 \cdot \sin(k\xi - \omega \cdot \ell t) \quad \dots\dots\dots(2.37)$$



Dengan mensubstitusikan ke dalam persamaan (2.33) dan kemudian hasilnya diintegrasikan terhadap panjang benda, diperoleh persamaan dasar I untuk gerakan translasi pada couple heaving dan pitching, yaitu :

$$(m + ma)\ddot{z} + b\dot{z} + cz + d\ddot{\theta} + \ell\dot{\theta} + h\theta = F(t) \quad (2.38)$$

dimana : $m = \int m_n d\xi \quad (2.39)$

$$ma = \int a_n d\xi$$

$$b = \int b_n d\xi$$

karena diasumsikan $\int (da_n / d\xi) d\xi = 0$ maka :

$$c = \int c_n d\xi \quad (2.40)$$

yang dapat juga dinyatakan sebagai $\rho \cdot g \int B_n d\xi$, dimana B_n merupakan lebar masing-masing seksi.

$$d = - \int a_n \xi \cdot d\xi \quad (2.41)$$

karena $\int m_n \xi \cdot d\xi = 0$, yaitu momen dari massa total disekitar titik beratnya harus sama dengan nol maka :

$$e = - \int b_n \xi \cdot d\xi + 2u \int a_n d\xi + u \int (da_n / dt) \xi \cdot d\xi$$



$$e = -\int b_n \xi d\xi + uma \dots\dots\dots(2.42)$$

jika $\int \xi (da_n / d\xi) d\xi = \int \xi$ dan $= -ma$, maka :

$$\begin{aligned} h &= -\int c_n \xi d\xi + u \int b_n d\xi \\ &= -\int c_n \xi d\xi + ub \dots\dots\dots(2.43) \end{aligned}$$

dan karena $u^2 \int (da_n / d\xi) d\xi = 0$ maka :

$$\begin{aligned} F(t) &= \int \frac{dF}{dx} dx = \\ &\zeta .ae^{-kz} \int (-\omega .e^2 a_n + c_n) \sin(k\xi - \omega .et) d\xi - \zeta .ae^{-kz} \omega .e \int \left(b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \cos(k\xi - \omega et) d\xi \end{aligned}$$

Exciting force (f) yang timbul sebagai akibat gerakan heaving merupakan kurva sinusoidal dan secara umum dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_o &= F1 \cos \omega et + F2 \sin \omega \\ &= F_o \cos (\omega et - \sigma) \dots\dots\dots (2.44) \end{aligned}$$

dimana F_o merupakan simpangan dari exciting force yang dinyatakan sbagai berikut :

$$F_o = \sqrt{F1^2 + F2^2}$$

sedangkan σ merupakan sudut phase yang dinyatakan sebagai berikut :

$$\sigma = -\tan^{-1}(F1 / F2)$$



F1 dan F2 dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$F1 = \int \frac{dF1}{dx} dx$$

$$\frac{dF1}{dx} = \zeta .ae^{-kz} \left(-\omega .e^2 a_n + c_n \right) \sin k\xi + \zeta .ae^{-kz} \omega .e \left(b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \cos k\xi \quad \dots\dots(2.45)$$

$$F2 = \int \frac{dF2}{dx} dx$$

$$\frac{dF2}{dx} = \zeta .ae^{-kz} \left(-\omega .e^2 a_n + c_n \right) \cos k\xi + \zeta .ae^{-kz} \omega .e \left(b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \sin k\xi \quad \dots\dots(2.46)$$

Hal yang perlu diperhatikan dari persamaan diatas adalah bahwa z diukur dari garis sarat rata-rata. Persamaan dasar II merupakan persamaan yang menggambarkan perilaku gerakan pitching akibat gerakan couple heaving dan pitching, yaitu :

$$(I_{yy} + A_{yy})\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta + D\ddot{z} + E\dot{z} + Hz = M(t) \quad \dots\dots\dots(2.47)$$

Dimana :

$$A_{yy} = \text{massa tambah momen inesia} = \int a_n \xi^2 d\xi$$

$$B = \text{momen peredam} = \int b_n \xi^2 d\xi$$

$$C = \text{momen pengembali} = \int c_n \xi^2 d\xi$$



$$M = \text{momen eksitasi} = M_o \cos(\omega.e + \tau) = \int \frac{dF}{d\xi} \xi.d\xi$$

Sedangkan D,E dan H merupakan bentuk kopel yang dinyatakan sebagai berikut :

$$D = d$$

$$E = - \int b_n \xi . d\xi - uma$$

$$H = - \int c_n \xi . d\xi$$

Amplitudo momen eksitasi M_o dapat dipeoleh melalui persamaan berikut :

$$M_o = \sqrt{M1^2 + M2^2} \dots\dots\dots(2.48)$$

Sudut phase τ akibat momen eksitasi terhadap gerakan gelombang adalah :

$$\tau = - \tan^{-1}(M2 / M1) \dots\dots\dots(2.49)$$

dimana :

$$M1 = \int \frac{dM1}{dx} d\xi$$

$$M2 = \int \frac{dM2}{dx} d\xi$$

$$\frac{dM1}{dx} = \xi \cdot \left(\frac{dF1}{dx} \right)$$



$$\frac{dM2}{dx} = \xi \left(\frac{dF2}{dx} \right)$$

Koefisien-koefisien pada persamaan dasar I dan II dapat diperoleh dengan mengasumsikan pendekatan gerak kopel untuk *calm water* sehingga ruas kanan pada masing-masing persamaan sama dengan nol. Dimana koefisien-koefisien tersebut adalah sebagai berikut :

$$P = -(m + ma)\omega^2 + iB\omega + c \quad \dots\dots\dots(2.50)$$

$$Q = -d\omega^2 + ie\omega + h \quad \dots\dots\dots(2.51)$$

$$S = -(I_{yy} + A_{yy})\omega^2 + iB\omega + c \quad \dots\dots\dots(2.52)$$

$$R = -D\omega^2 + ie\omega + H \quad \dots\dots\dots(2.53)$$

Sedangkan untuk memudahkan penyelesaian, gaya dan momen eksitasi pada persamaan dasar I dan II dapat diperoleh dengan metode bilangan kompleks, yaitu :

$$\bar{F} = F_o e^{i\sigma} \quad \text{dan} \quad \bar{M} = M_o e^{i\tau}$$

Jika \bar{z} menyatakan seluruh komponen z dan $\bar{\theta}$ menyatakan seluruh komponen θ maka persamaan dasar I dan II dapat ditulis kembali :

$$P\bar{z} + Q\bar{\theta} = \bar{F} \quad \text{dan} \quad S\bar{\theta} + R\bar{z} = \bar{M}$$

sehingga untuk persamaan heaving adalah :



$$\bar{z} = \frac{\bar{F} - Q\bar{\theta}}{P} \quad \text{dan} \quad \bar{\theta} = \frac{\bar{F} - P\bar{z}}{Q} \quad \dots\dots\dots(2.54)$$

sedangkan untuk persamaan pitching adalah :

$$\bar{z} = \frac{\bar{M} - S\bar{\theta}}{R} \quad \text{dan} \quad \bar{\theta} = \frac{\bar{M} - R\bar{z}}{S} \quad \dots\dots\dots(2.55)$$

Jika persamaan diatas disubstitusikan akan diperoleh persamaan berikut :

$$\frac{\bar{F} - Q\bar{\theta}}{P} = \frac{\bar{M} - S\bar{\theta}}{R} \quad \text{dan} \quad \frac{\bar{F} - P\bar{\theta}}{Q} = \frac{\bar{M} - R\bar{\theta}}{S} \quad \dots\dots\dots(2.56)$$

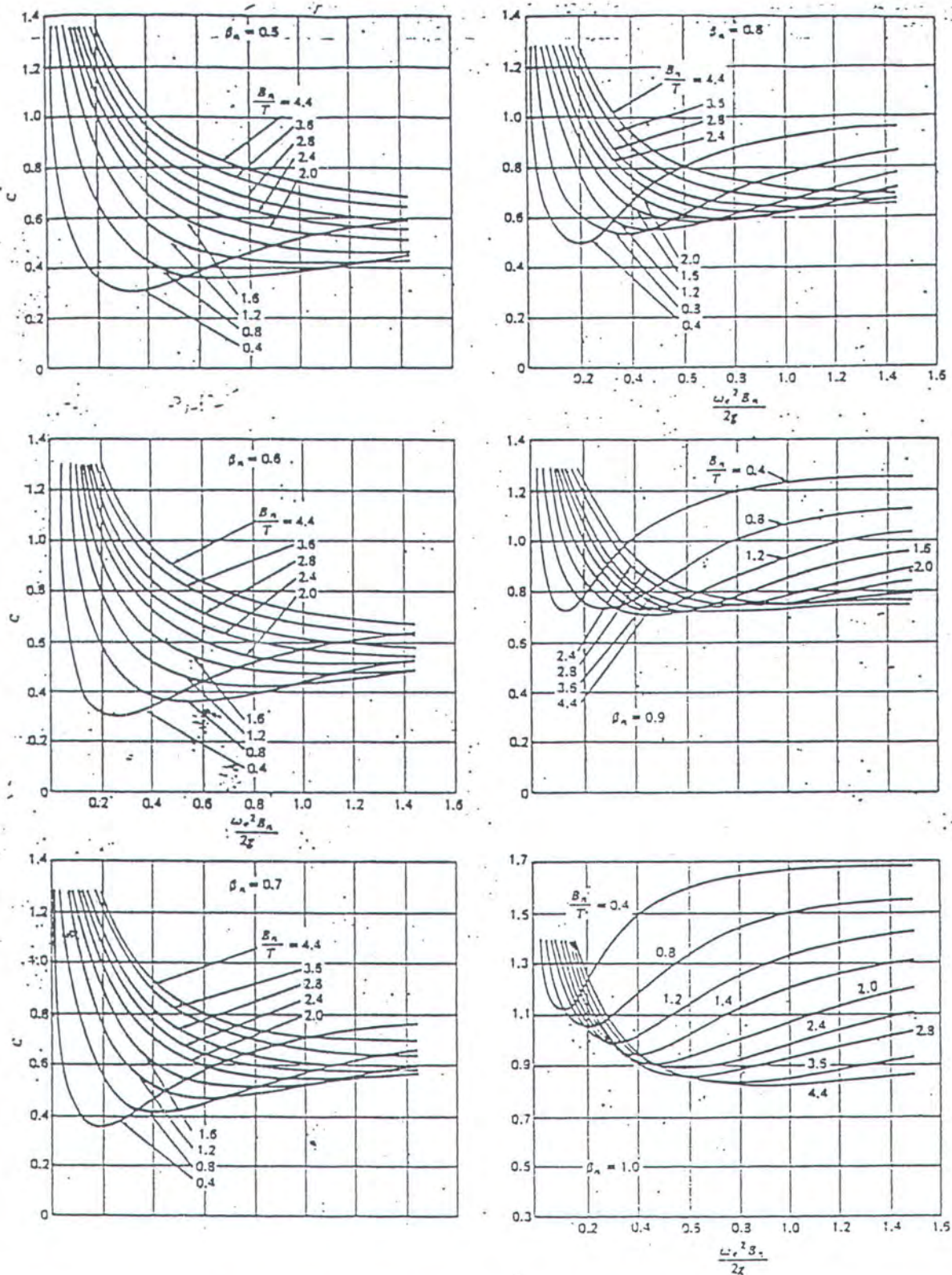
$$\bar{z} = \frac{\bar{MQ} - \bar{FS}}{\bar{QR} - \bar{PS}} \quad \dots\dots\dots(2.57)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{FR} - \bar{MP}}{\bar{QR} - \bar{PS}} \quad \dots\dots\dots(2.58)$$

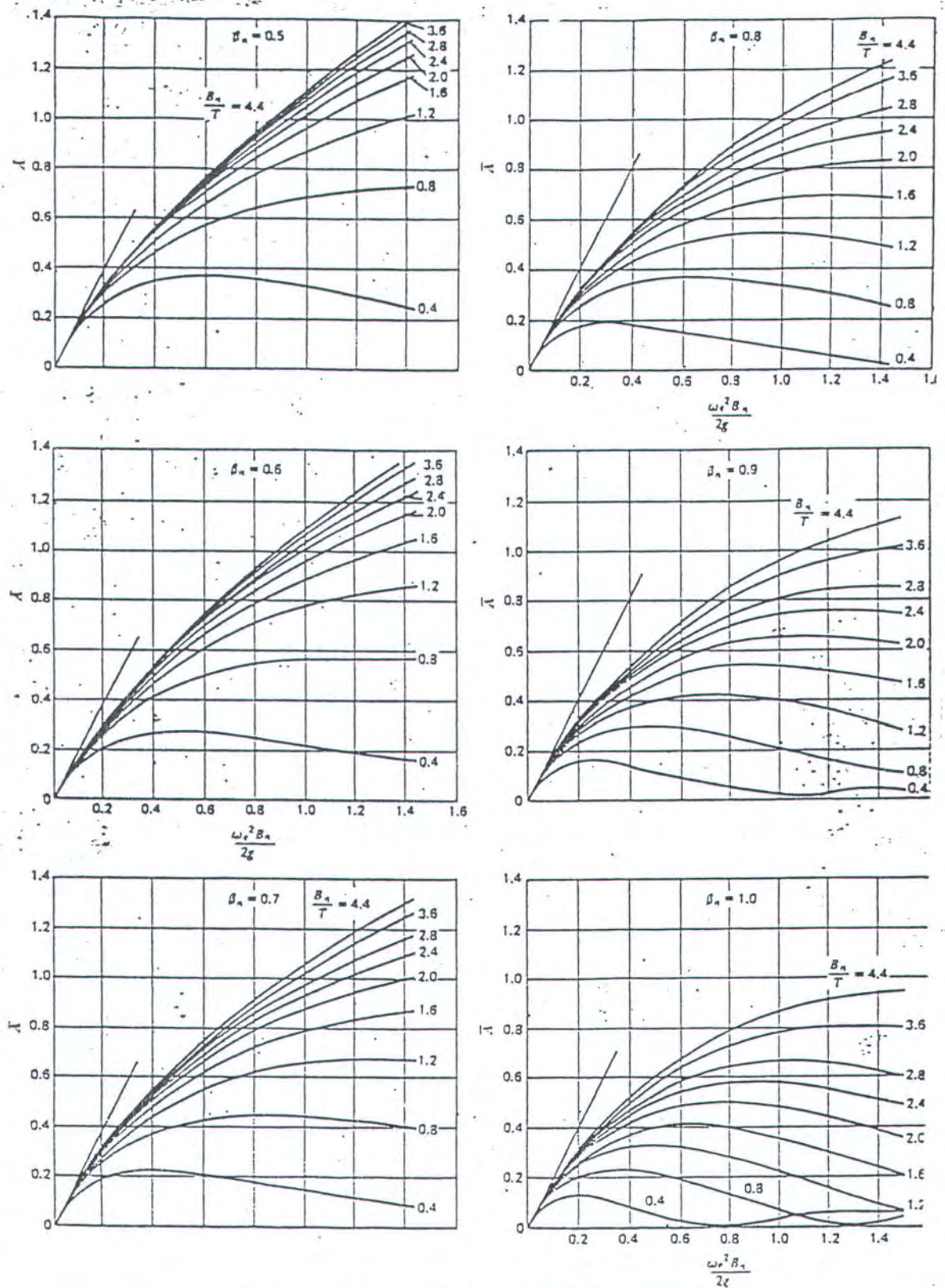
Dari persamaan (2.56) dan (2.58) diatas dipeoleh solusi akhir untuk persamaan gerak kopel heaving-pitching. Simpangan dan sudut phase untuk \bar{z} dan $\bar{\theta}$ dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$\bar{z} = z_a e^{i\delta} = z_a (\cos \delta + i \sin \delta) \quad \dots\dots\dots(2.59)$$

$$\bar{\theta} = \theta_a e^{i\varepsilon} = \theta_a (\cos \varepsilon + i \sin \varepsilon) \quad \dots\dots\dots(2.60)$$



Gambar 2.5. Grafik koefisien massa tambah gerakan heaving



Gambar 2.6. Grafik amplitudo ratio gerakan heaving



2.4. Kriteria perencanaan ukuran alur

2.4.1. Dimensi kapal

Sebelum menentukan ukuran alur pelabuhan, dibutuhkan klasifikasi kapal beserta ukurannya. *The European Conference of Ministers of Transport* (1953, 1986) merekomendasikan untuk mengklasifikasi kapal dalam lima kelas seperti berikut :

Tabel 2.1. Standart ukuran kapal di alur

Kelas	Kapasitas GT (ton)	Panjang Loa (m)	Lebar B (m)	Sarat air di alur (m)
I	350	39	5.1	2.4
II	600	55	6.6	2.5
III	1000	67-80	8.2	2.6
IV	1500	85	9.5	2.8
V	2500	110	11.5	3.2
Va	5000	185	11.5	3.2-4.0
Vb	10000	193	22.8	4

2.4.2. Frekuensi kapal

Frekuensi kedatangan kapal dan ukuran kapal merupakan dua faktor utama yang menentukan ukuran penampang alur. Beberapa aspek lain yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan alur pelabuhan antara lain perkembangan arus barang beserta perkembangan ukuran kapal baru.

Arus lalu lintas kapal dalam hubungannya dengan perencanaan alur dikelompokkan dalam dua kelompok yaitu : intensitas tinggi (*high intensity*) untuk



arus kapal lebih dari 15.000 kapal pertahun, dan intensitas rendah untuk arus kapal kurang dari 5.000 kapal pertahun. Jika intensitas kapal sangat rendah, maka alur untuk satu jalur (*one way traffic*) sudah memenuhi sarat (*acceptable*), selama untuk jalur pendek dan aturan pelayaran dipenuhi.

Hasil studi dari CVB (*Commissie Vaarweg Beheerder*) yang telah diadopsi oleh *The European Conference of Ministers of Transport* mengklasifikasikan ukuran penampang melintang alur dalam hubungannya dengan arus kapal dalam tigakategori, yaitu (Murdjito, 2001) :

a) *Penampang alur standart (Preferred cross section)*

Pada kondisi alur demikian, maka kapal dengan system navigasi dua arah baik itu dengan pola bersimpangan (*incounter*) maupun menyalip (*overtake*) dengan kondisi bermuatan (*laden*) diijinkan dengan kecepatan maksimum di alur hingga reduksi 30% dari kecepatan maksimumnya. Penampang alur ini merupakan ukuran standart dengan tingkat intensitas kapal sebesar 15.000 kapal pertahun atau 50 kapal perhari.

b) *Penampang alur reduksi (reduction cross section)*

Pada kondisi alur ini hanya mengijinkan kaplbemuatan bersipanhhan dengan kapal bermuatan lain tapi dengan haati-hati dan mengijinkan kapal tak bermuatan menyalip kapal yang bermuatan di depannya dngan hati-hati, yakni dengan mengurangi kecepatan sekitar 50 – 70% Vs. kondisi alur ini hanya mengijinkan untuk lalu lintas kapal dengan intensitas per tahun sekitar 5.000 kapal atau 20 kapal perhari.



c) *Alur satu arah (one way cross section)*

Pada kondisi ini, hanya satu kapal bermuatan yang diijinkan melintasi alur. Kondisi alur ini hanya memproyeksikan intensitas kapal maksimal 1.000 kapal pertahun atau 5 kapal perhari. Alur ini harus jug dilengkapi dengan rambu navigasi dan kolam cadangan di beberapa tempat tertentu untuk kapal dapat bersimpangan atau menyalip.

2.4.3. Profil penampang alur dan parameter perencanaan

Tiga parameter utama yang digunakan untuk menentukan ukuran penampang alur adalah :

A. **Parameter kedalaman atau h_0/d_n**

Parameter tak berdimensi ini menentukan kemampuan pengendalian kapal dan kecepatan kapal. Dimana d_n adalah sarat kapal tenang. Sehingga parameter ini menentukan kemampuan manuver kapal. Minimum kedalaman alur ditentukan oleh sarat dan kecepatan layar kapal yang diijinkan, dan juga jarak bebas dibawah lunas kapal hingga permukaan dasar.

Bruun (1981) memberikan nilai ruang kebebasan bruto secar umum untuk berbagai daerah berikut ini :

- ❖ Di daerah terbuka dengan gelombang besar, dan kecepatan kapal masih besar, ruang kebebasan bruto sebesar 20% arat kapal maksimum.
- ❖ Didaerah kapal melempar sauh dimana gelombang besar ruang kebebasan bruto adalah 15% sarat kapal.



- ❖ Alur diluar kolam pelabuhan dimana gelombang besar, ruang kebebasan bruto adalah 15% sarat kapal.
- ❖ Alur tidak terbuka terhadap gelombang, ruang kebebasannya bruto adalah 10% sarat kapal.
- ❖ Kolam pelabuhan yang tidak terlindung dari gelombang, ruang kebebasan bruto adalah 10 – 15% sarat kapal.
- ❖ Kolam pelabuhan yang terlindung dari gelombang, ruang kebebasan bruto adalah 7% sarat kapal.

OCDI (1991) (Triadmodo, 1996) juga memberikan cara penentuan kelonggaran (ruang kebebasan bruto) dengan mempertimbangkan gerak kapal karena pengaruh gelombang, squat, dan kondisi dasar laut.

Ukuran diatas untuk menentukan elevasi dasar alur nominal. Untuk menentukan kedalaman alur pelayaran perlu diperhitungkan ruang untuk pengendapan, toleransi pengukuran dan toleransi pengerukan.

Secara umum kriteria kedalaman alur pelayaran adalah sebagai berikut (Groenveld, 1997) :

- $h_0/d_n > 1.4$: alur panjang, intensitas tinggi, kapal kelas IV atau lebih.
- $h_0/d_n = 1,3$: alur terbuka dan pendek, dengan intensitas arus kapal rendah, kapal kelas III atau kurang.
- $h_0/d_n > 1,5$: alur untuk tongkang yang mendorong.

**B. Parameter lebar atau Bo/b**

Parameter Bo/b menentukan intensitas arus lalu lintas kapal yang diijinkan, yang juga berhubungan dengan pola navigasi kapal di alur (*encountering* atau *overtaking*). Dimana Bo ukuran lebar alur pada sisi lunas kapal (*keel*) dan b lebar kapal.

Triadmodjo (1996) mensyaratkan bahwa lebar alur tergantung pada beberapa faktor yaitu : lebar, kecepatan dan gerakan kapal, trafik kapal atau pola navigasi, kedalaman alur, kondisi alur (lebar/sempit), stabilitas tebing alur, dan kondisi lingkungan (angin, gelombang, arus dan arus melintang kapal)

CVB merekomendasikan sehubungan dengan parameter Bo/b adalah sebagai berikut :

- Kelas I s/d IV :
 - a. $Bo/b = 2.0$: satu jalur.
 - b. $Bo/b = 3.0$: dua jalur, reduce profile
 - c. $Bo/b = 4.0$: dua jalur, profile standart/ preferred.
- Kelas V atau lebih dengan dua jalur $Bo/b > 4.0$

Sedangkan menurut OCDI (1991) ukuran lebar alur untuk dua jalur direkomendasikan sebagai berikut :

Tabel 2.2. Standart ukuran alur menurut OCDI,1991

Panjang alur	Kondisi pelayaran	lebar
Relative panjang	Kapal sering bersimpangan	2 Loa
	Tidak sering bersimpangan	1,5 Loa

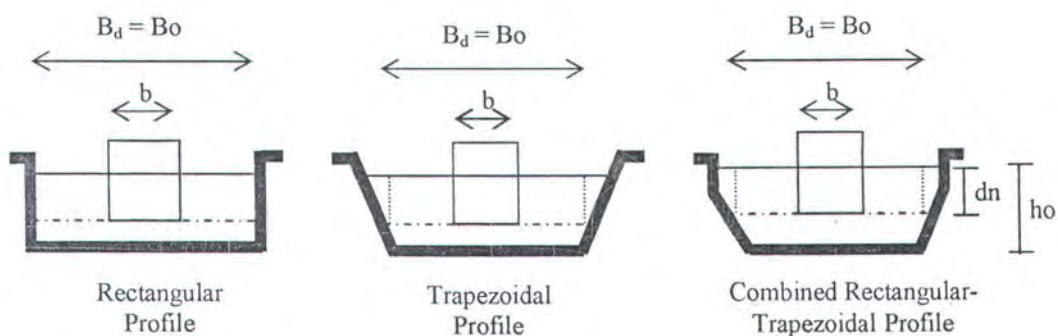
Selain diatas	Kapal sering bersimpangan	1,5 Loa
	Tidak sering bersimpangan	Loa

C. Parameter penampang alur atau As/Ac atau $1/k$

Parameter penampang alur sangat berpengaruh pada kecepatan layar kapal di alur, karena hal ini terkait dengan tahanan yang timbul di kapal karena berlayar di alur. Untuk itu, besarnya parameter penampang alur sangat tergantung pada lay-out penampang alur. Lay-out penampang alur dibedakan atas tiga jenis, yaitu : profil tegak (*rectangular profile*), profil trapezium (*trapezoidal profil*) dan profil kombinasi, seperti yang terlihat pada gambar dibawah :

Untuk profil penampang alur bertipe trapezium atau tipe kombinasi berlaku rumus sebagai berikut :

$$\frac{ho}{d_n} \times \frac{Bo}{b} < \frac{1}{As/Ac} \dots\dots\dots(2.61)$$



Gambar 2.7. Profile penampang alur



D. Belokan alur

Untuk mengurangi kesulitan dalam pelayaran, sedapat mungkin alur pelayaran merupakan garis lurus. Apabila hal ini tidak dimungkinkan, maka sumbu alur dibuat dengan beberapa bagian lurus yang dihubungkan dengan busur lingkaran. Jari-jari busur pada belokan tergantung pada sudut belokan terhadap sumbu alur. Lebar alur dibelokkan tergantung dengan sudut belokan, panjang kapal, sudut maksimum manuver kemudi, dan eksentrisitas gerakan kapal dialur. Penambahan lebar alur (ΔB) dibelokkan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta B = \alpha \cdot \frac{L^2}{R} \dots\dots\dots (2.62)$$

dimana untuk :

$L/R > 10$: tidak perlu penambahan lebar.

$L/R < 10$ dan $\beta > 30^\circ$: perlu penambahan lebar alur, yaitu :

- Kapal kelas I – IV tak bermuatan : $\alpha = 0,5$
- Kapal kelas IVb tak bermuatan : $\alpha = 0,35$
- Kapal kelas Va tak bermuatan : $\alpha = 0,30$
- Kapal kelas I – Va bermuatan : $\alpha = 0,25$
- Kapal kelas Vb bermuatan : $\alpha = 0,10$



$L/R < 10$ dan $\beta < 30^0$: sama dengan diatas dikalikan $\beta/30$.

$L/R < 10$ dan $\beta < 20^0$: tidak perlu penambahan lebar alur.



BAB III
METODOLOGI

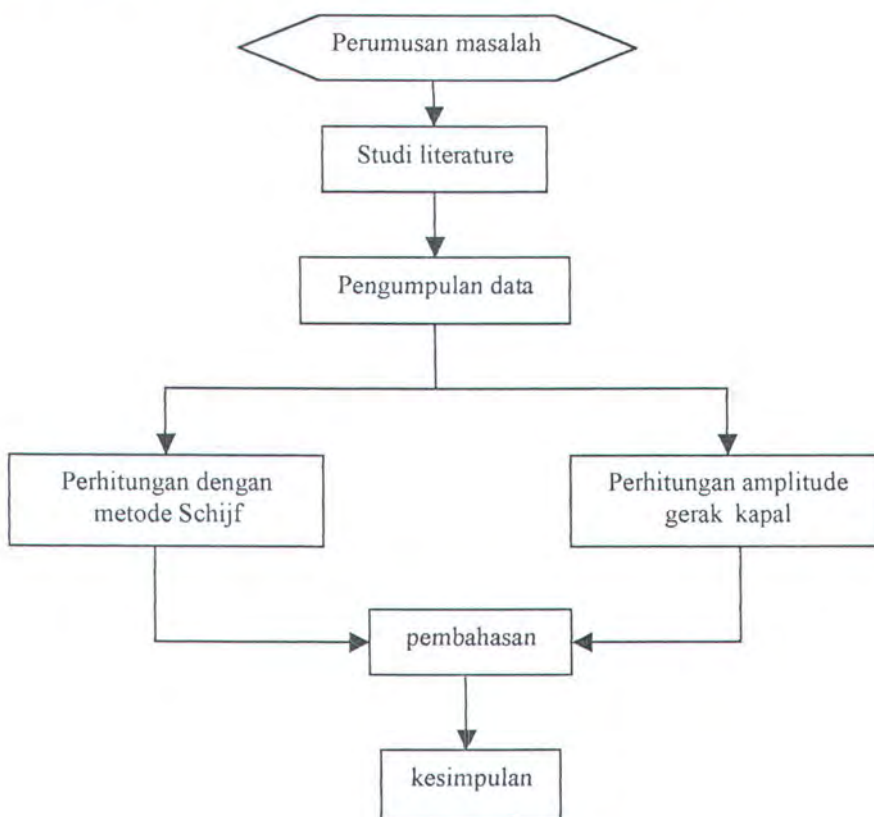


BAB III

METODOLOGI

3.1. Diagram alir

Untuk memudahkan dalam melakukan penulisan tugas akhir ini, maka semua bentuk kegiatan yang dilakukan harus disusun secara benar berdasarkan urutan kerja untuk mendapatkan hasil yang maksimal dengan pengalokasian waktu yang efektif. Adapun urutan kegiatan atau diagram alir dari tugas akhir ini adalah :



Gambar 3.1. Diagram alir



3.2. Penjelasan

Dibawah ini akan dipaparkan secara singkat dari masing-masing urutan kerja yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini. Adapun deskripsi yang dilakukan untuk setiap langkah yang ditempuh merupakan garis besarnya saja.

3.2.1. Perumusan masalah

Untuk mengawali penulisan tugas akhir ini maka sangat penting melakukan perumusan masalah. Dengan perumusan masalah yang jelas diharapkan mempermudah dalam pelaksanaan serta hasil yang diperoleh sesuai dengan keinginan.

3.2.2. Studi literatur

Pada tahap ini, dihimpun berbagai teori dan rumur-rumus dasar serta berbagai definisi mengenai topik yang dipilih dalam penyusunan tugas akhir dari berbagai sumber yang relevan. Studi literatur ini berguna dalam rangka memperjelas dasar pemikiran dan teori yang akan digunakan serta langkah-langkah yang seharusnya dilakukan pada saat penyusunan tugas akhir ini sehingga nantinya hasil yang diperoleh tidak menyimpang dari tujuan.

Dari berbagai literatur yang ada, ternyata informasi mengenai perencanaan alur dengan metode Schijf ini belum banyak dilakukan dan meskipun ada biasanya penjelasan yang diberikan masih kurang.



3.2.3. Pengumpulan data

Pada tahap berikutnya, dikumpulkan berbagai data penunjang yang sangat berguna untuk kegiatan perhitungan selanjutnya.

Data yang digunakan dalam perencanaan dapat berupa data sekunder yang terdiri dari :

- a. Data kapal yang berlayar di Selat Madura.
- b. Data lingkungan : oseanografi, gelombang, pasang surut dan lokasi kritis di alur.

Data diatas diperoleh dari pusat informasi Pelabuhan Tanjung Perak maupun dari literatur-literatur yang telah ada.

3.2.4. Perhitungan dengan metode Schijf

Pada tahap ini dengan menggunakan data yang telah ada mulai dilakukan kegiatan perhitungan dengan metode Schijf dimana tujuan utama perhitungan ini adalah untuk mendapatkan kecepatan maksimum kapal yang belayar di alur dan besarnya squat kapal tersebut.

3.2.5. Perhitungan amplitudo gerak kapal

Perhitungan yang dilakukan pada tahap ini adalah perhitungan couple heaving-pitching kapal dengan menggunakan data kecepatan kapal yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya. Pelaksanaan perhitungan untuk tiga kapal dengan berat kapal yang berbeda-beda yang berguna untuk mengetahui kedalaman kritis alur.



3.2.6. Analisa dan pembahasan

Data hasil perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan disajikan dalam bentuk grafik yang kemudian digunakan merencanakan alur pelayaran yang minimal dimana semua kapal rencana dapat berlayar pada alur tersebut dengan aman. Pada tahap ini dilakukan juga analisa kriteria design untuk mengetahui kondisi alur pelayaran yang sudah ada memenuhi persyaratan atau tidak.

3.2.7. Kesimpulan

Tahap ini merupakan bentuk penulisan ulang dari semua kegiatan perhitungan yang telah dilakukan pada tahap-tahap sebelumnya. Disamping itu juga berisi poin-poin penting yang merupakan jawaban dari permasalahan yang ada.



BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa kondisi alur

Dalam penulisan tugas akhir ini bathimetri alur pelayaran barat Surabaya dibagi atas lima potongan (ruas) sesuai dengan kedalamannya (lihat gambar 4.1) sebagai berikut :

a) Section 1

Lokasi section ini di Tanjung Sawo dengan kedalaman maksimumnya 21,59 m, sedangkan kedalaman pada elevasi terendah adalah 20 m. Lebar alur utamanya 516 m dan lebar alur minimum 245,375 m. Tinggi gelombang yang terjadi adalah 3,186 m.

b) Section 2

Lokasi section ini di depan Kali Mertani dengan kedalaman maksimumnya 16,76 m, sedangkan kedalaman pada elevasi terendah adalah 15 m. Lebar alur utamanya 1140 m dan lebar alur minimum 245,375 m. Tinggi gelombang yang terjadi adalah 0,358 m.

c) Section 3

Lokasi section ini di Kali Mireng dengan kedalaman maksimumnya 11,76 m, sedangkan kedalaman pada elevasi terendah adalah 10 m. Lebar alur utamanya 2005 m dan lebar alur minimum 245,375 m. Tinggi gelombang yang terjadi adalah 0,942 m.



d) Section 4

Lokasi section ini di Pelabuhan Gresik dengan kedalaman maksimumnya 21,76 m sedangkan kedalaman pada elevasi terendah adalah 20 m. Lebar alur utamanya 919 m dan lebar alur minimum 245,375 m. Tinggi gelombang yang terjadi adalah 0,634 m.

e) Section 5

Lokasi section ini di Kali Lamong dengan kedalaman maksimumnya 16,76 m, sedangkan kedalaman pada elevasi terendah adalah 15 m. Lebar alur utamanya 1100 m dan lebar alur minimum 245,375 m. Tinggi gelombang yang terjadi adalah 1,087 m.

4.2. Hasil perhitungan dengan metode Schijf

Hasil perhitungan dengan metode Schijf ini berupa batas kecepatan maksimum kapal yang berlayar dialur (V_{lim}), kecepatan arus balik (U) dan depresi permukaan air atau squat (Z).

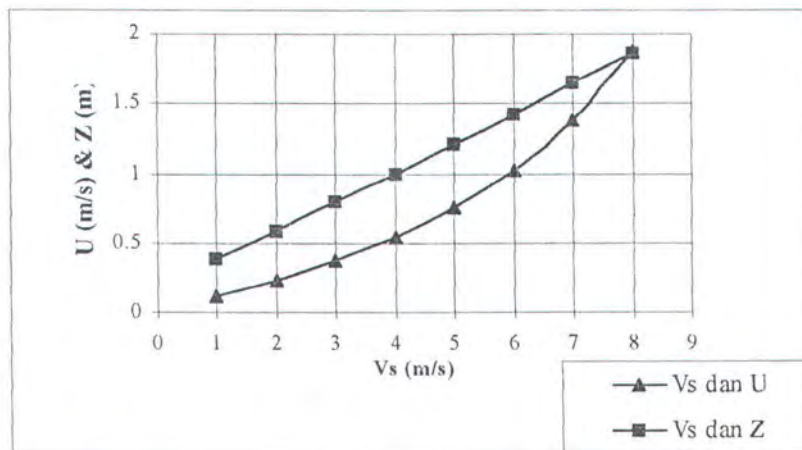
Proses perhitungan metode Schijf dapat dilihat pada lampiran A. Ringkasan hasil perhitungan dengan metode Schijf pada section 1 dan 4 tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 serta gambar 4.2. dan 4.3.dibawah ini.

Tabel 4.1. Hasil perhitungan dengan metode Schijf pada daerah section 1 dan 4

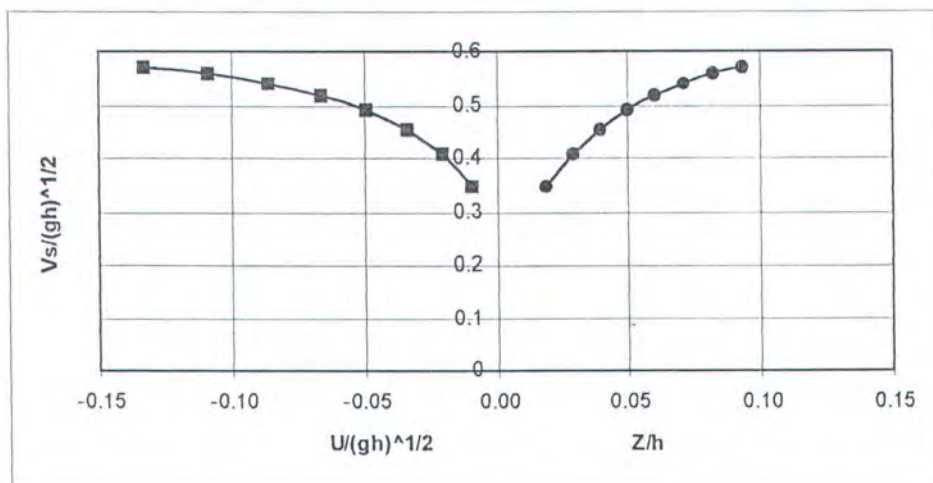
No	h	V_s	U	Z	Z/h	$U/(gh)^{1/2}$	$V_s/(gh)^{1/2}$
	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)			
1	20	1	0,1086	0,382	0,0191	0,0093	0,3461



2	20	2	0,2288	0,5836	0,0292	0,0205	0,4086
3	20	3	0,3703	0,7885	0,0394	0,0336	0,4545
4	20	4	0,5427	0,9966	0,0498	0,0489	0,4897
5	20	5	0,7562	1,208	0,0604	0,0663	0,5173
6	20	6	1,0251	1,4227	0,0711	0,0861	0,5394
7	20	7	1,374	1,6407	0,0820	0,1084	0,557
8	20	8	1,869	1,8619	0,0931	0,1334	0,5711



Gambar 4.2. Grafik hubungan antara V_s dengan U dan Z pada daerah section 1 dan 4



Gambar 4.3. Grafik hubungan antara Z/h dan $U/(gh)^{1/2}$ dengan $V_s/(gh)^{1/2}$ pada section 1 dan 4



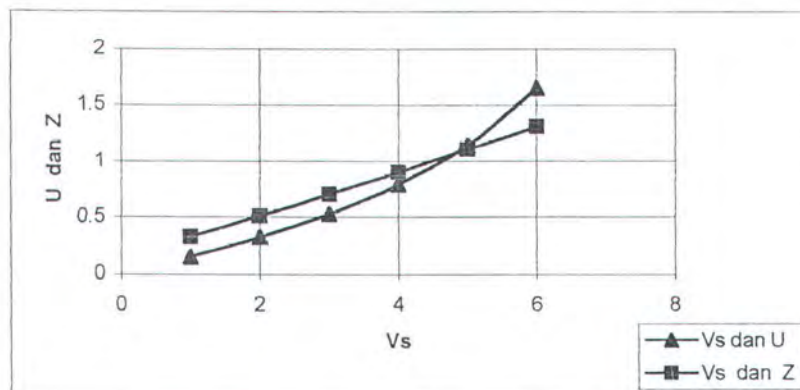
Pada perhitungan section 1 dan 4 ada kecenderungan garis linier yang naik dari U dan garis eksponensial positif dari Z seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal (V_s) yang berlayar dialur tersebut. Hasil perhitungan dengan metode Schijf tersebut diketahui bahwa pada kecepatan kapal (V_s) terendah yaitu pada 1 m/s diperoleh nilai arus balik minimum (U) 0,1086 m/s dan squat (Z) minimum 0,382 m, sedangkan pada kecepatan tertinggi yaitu 8 m/s diperoleh nilai arus balik maksimum (U) 1,869 m/s dan squat (Z) maksimum 1,8619 m.

Dari gambar 4.2 dapat diketahui bahwa kedua grafik menunjukkan tren garis eksponen negatif dimana nilai $V_s/(gh)^{1/2}$ akan meningkat seiring bertambahnya nilai Z/h dan $U/(gh)^{1/2}$. Pada kedua grafik diperoleh nilai $V_s/(gh)^{1/2}$ minimum 0,3461 yaitu pada $U/(gh)^{1/2}$ sebesar 0,0093 dan Z/h sebesar 0,0191, sedangkan nilai $V_s/(gh)^{1/2}$ maksimum 0,5711 diperoleh pada $U/(gh)^{1/2}$ sebesar 0,1334 dan Z/h sebesar 0,0931.

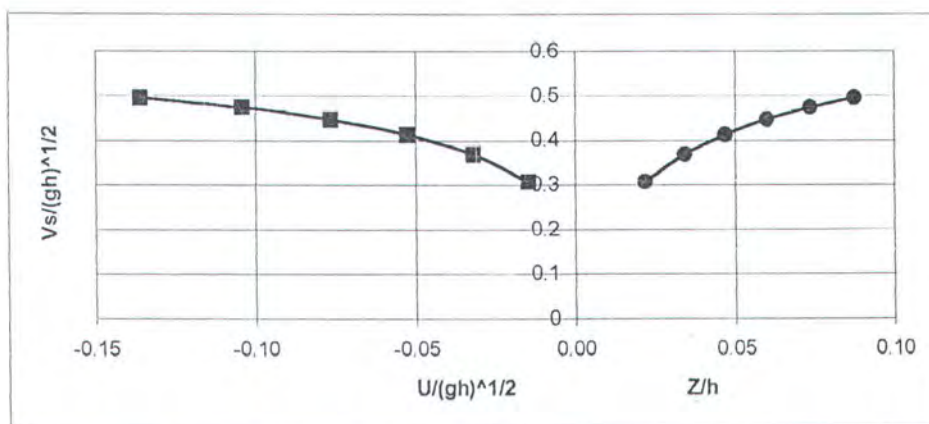
Untuk ringkasan hasil perhitungan dengan menggunakan metode Schijf pada section 2, 3 dan 5 dapat dilihat pada tabel 4.2. serta gambar 4.4. dan 4.5. dibawah.

Tabel 4.2. Hasil perhitungan metode Schijf pada daerah section 2, 3, dan 5

No	h	V_s	U	Z	Z/h	$U/(gh)^{1/2}$	$V_s/(gh)^{1/2}$
	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)			
1	15	1	0,1508	0,3267	0,0218	0,0146	0,3077
2	15	2	0,321	0,5125	0,0342	0,032	0,3684
3	15	3	0,5282	0,7039	0,0469	0,0526	0,4129
4	15	4	0,792	0,9008	0,0601	0,0766	0,4471
5	15	5	1,1425	1,1032	0,0735	0,1043	0,4737
6	15	6	1,651	1,3112	0,0874	0,1361	0,4946



Gambar 4.4. Grafik hubungan Vs dengan U dan Z Pada section 2, 3 dan 5



Gambar 4.5. Grafik hubungan antara Z/h dan $U/(gh)^{1/2}$ dengan $Vs/(gh)^{1/2}$ pada section 2, 3 dan 5

Pada perhitungan section 2,3 dan 5 ada kecenderungan garis linier yang naik dari U dan garis exponensial positif dari Z seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal (Vs) yang berlayar dialur tersebut. Hasil perhitungan dengan metode Schijf tersebut diketahui bahwa pada kecepatan kapal (Vs) terendah yaitu pada 1 m/s diperoleh nilai arus balik minimum (U) 0,1508 m/s dan squat (Z) minimum 0,3267 m,



sedangkan pada kecepatan tertinggi yaitu 8 m/s diperoleh nilai arus balik maksimum (U) 1,651 m/s dan squat (Z) maksimum 1,3112 m.

Dari gambar 4.5. dapat diketahui bahwa kedua grafik menunjukkan tren garis eksponen negatif dimana nilai $Vs/(gh)^{1/2}$ akan meningkat seiring bertambahnya nilai Z/h dan $U/(gh)^{1/2}$. Pada kedua grafik diperoleh nilai $Vs/(gh)^{1/2}$ minimum 0,3077 yaitu pada $U/(gh)^{1/2}$ sebesar 0,0146 dan Z/h sebesar 0,0218, sedangkan nilai $Vs/(gh)^{1/2}$ maksimum 0,4946 diperoleh pada $U/(gh)^{1/2}$ sebesar 0,1361 dan Z/h sebesar 0,0874.

Secara umum dari hasil perhitungan di atas menunjukkan adanya kesamaan kecenderungan garis naik antara U dan Z baik pada section 1,2,3 4 dan 5. Hal tersebut menunjukkan bahwa arus balik (U) dan squat (Z) sangat tergantung pada kecepatan layar kapal (Vs). Sedangkan untuk grafik hubungan antara $U/(gh)^{1/2}$ dan Z/h dengan $Vs/(gh)^{1/2}$ semakin besar nilai $U/(gh)^{1/2}$ dan Z/h maka grafiknya semakin datar hal ini menunjukkan bahwa pada titik tertentu maka nilai $Vs/(gh)^{1/2}$ adalah konstan.

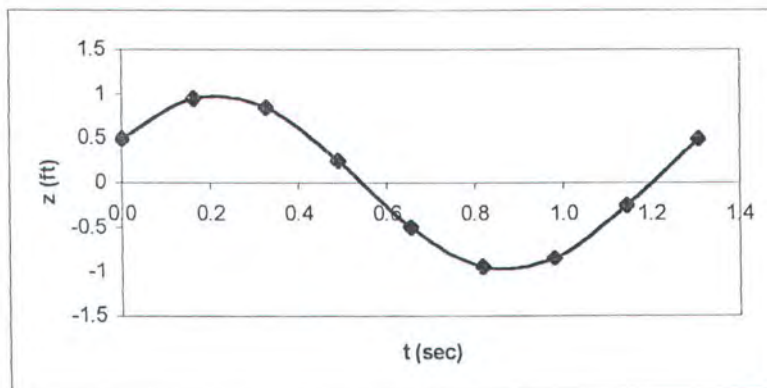
4.3. Hasil perhitungan couple heaving-pitching kapal

Proses perhitungan gerakan couple heaving-pitching kapal dengan teori Strip dapat dilihat pada lampiran B. Sedangkan ringkasan hasil perhitungan amplitudo kapal (1) dimana mempunyai bobot mati kapal 50.000 DWT dan berlayar pada section 1 dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah.

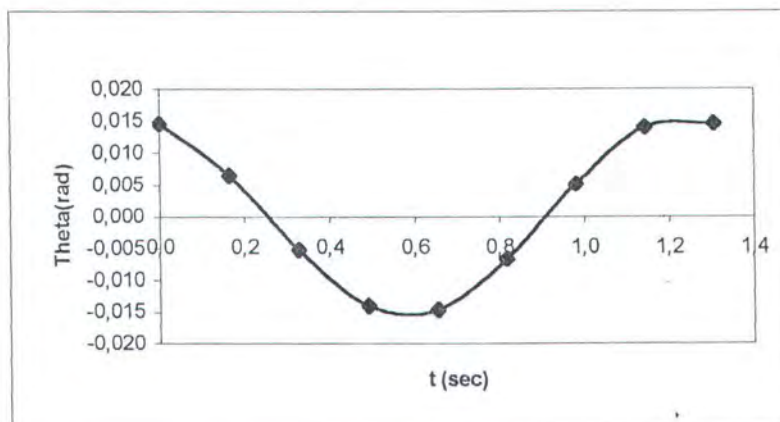


Tabel 4.3. Hasil perhitungan couple heaving-pitching kapal (1) pada section 1

$\omega e.t$ (rad)	t (sec)	ζ (ft)	F ($\times 10^{12}$)(lb)	z (ft)	M ($\times 10^{18}$)(ft-lb)	θ (rad)
0	0,000	0	2,783	4,95E-01	6,68	0,0146
$\pi/4$	0,163	-0,1414	6,212	9,51E-01	3,16	0,0066
$\pi/2$	0,327	-0,2000	6,002	8,50E-01	-2,21	-0,0052
$3\pi/4$	0,490	-0,1414	2,276	2,51E-01	-6,29	-0,0140
π	0,653	0,0000	-2,783	-4,95E-01	-6,68	-0,0146
$5\pi/4$	0,816	0,1414	-6,212	-9,51E-01	-3,16	-0,0066
$6\pi/4$	0,980	0,2000	-6,002	-8,50E-01	2,21	0,0052
$7\pi/4$	1,143	0,1414	-2,276	-2,51E-01	6,29	0,0140
2π	1,306	0,0000	2,783	4,95E-01	6,68	0,0146



Gambar 4.6. Grafik gerakan heaving kapal (1) pada section 1



Gambar 4.7. Grafik gerakan pitching kapal (1) pada section 1

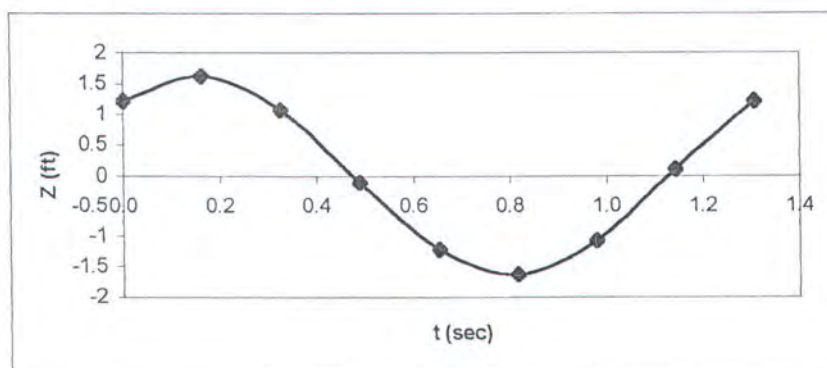


Gambar 4.6. menunjukan bahwa pada kapal (1) dengan massa 50.000 DWT dan panjang 200 m yang belayar pada section (1) terjadi gerakan heaving maksimum 1 ft (= 30 cm) pada waktu (t) 0,2 dan 0,85 detik. Sedangkan gambar 4.7. menunjukan bahwa pada daerah dan kapal yang sama terjadi gerakan pitching maksimum 0,0155 rad (= 0,8876°) pada waktu (t) 0,57 dan 1,22 detik, sehingga tinggi pitching maksimum adalah $\tan(0,8876) \times (200/2) = 1,55$ m.

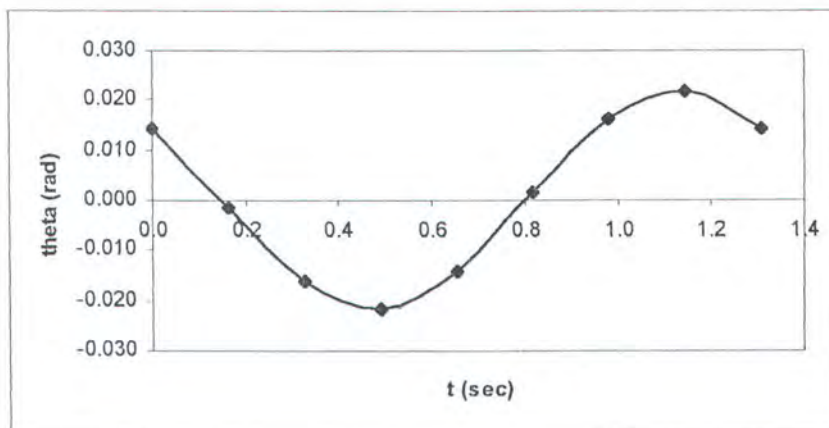
Untuk kapal (2) dimana punya bobot mati kapal 25.000 DWT yang berlayar pada section 1, hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini.

Tabel 4.4. Hasil perhitungan couple heving-pitching kapal (2) pada section 1

$\omega_e.t$ (rad)	t (sec)	ζ (ft)	F ($\times 10^{12}$)(lb)	z (ft)	M ($\times 10^{18}$)(ft-lb)	θ (rad)
0	0,000	0	4,185	1,22E+00	2,09	0,0142
$\pi/4$	0,163	-0,1414	12,169	1,62E+00	-0,32	-0,0015
$\pi/2$	0,327	-0,2000	13,024	1,07E+00	-2,54	-0,0163
$3\pi/4$	0,490	-0,1414	6,251	-1,06E-01	-3,27	-0,0215
π	0,653	0,0000	-4,185	-1,22E+00	-2,09	-0,0142
$5\pi/4$	0,816	0,1414	-12,169	-1,62E+00	0,32	0,0015
$6\pi/4$	0,980	0,2000	-13,024	-1,07E+00	2,54	0,0163
$7\pi/4$	1,143	0,1414	-6,251	1,06E-01	3,27	0,0215
2π	1,306	0,0000	4,185	1,22E+00	2,09	0,0142



Gamabar 4.8. Grafik gerakan heaving kapal (2) pada section 1



Gambar 4.9. Grafik gerakan pitching kapal (2) pada section 1

Gambar 4.8. menunjukkan bahwa pada kapal (2) dengan massa 25.000 DWT dan panjang 150 m yang belayar pada section (1) terjadi gerakan heaving maksimum 1,62 ft (= 50 cm) pada waktu 0,163 dan 0,816 detik. Sedangkan gambar 4.9. menunjukkan bahwa pada daerah dan kapal yang sama terjadi gerakan pitching maksimum 0,0216 rad (= 1,2375°) pada waktu (t) 0,49 dan 1,143 detik sehingga tinggi pitching maksimum adalah $\tan(1,2375) \times (150/2) = 1,62$ m.

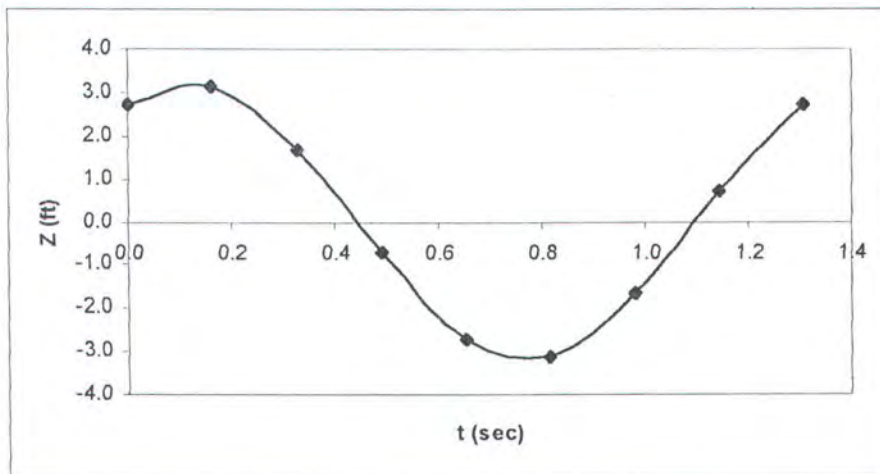
Sedangkan hasil perhitungan gerak kapal (3) yang mempunyai bobot mati 10.000 DWT berlayar pada section 1 dapat dilihat pada tabel 4.5 serta gambar 4.10 dan 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.5. Hasil perhitungan couple heaving-pitching kapal (3) Pada section 1

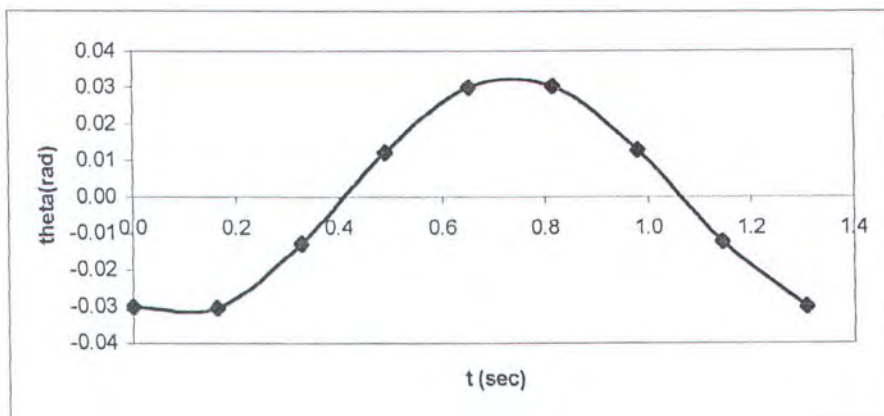
$\omega.e.t$ (rad)	t (sec)	ζ (ft)	F ($\times 10^{12}$)(lb)	z (ft)	M ($\times 10^{18}$)(ft-lb)	θ (rad)
0	0,000	0	2,221	2,72E+00	0,06	-0,0301
$\pi/4$	0,163	-0,1414	5,001	3,11E+00	-0,01	-0,0304
$\pi/2$	0,327	-0,2000	4,851	1,68E+00	-0,08	-0,0129
$3\pi/4$	0,490	-0,1414	1,859	-7,31E-01	-0,10	0,0122



π	0,653	0,0000	-2,221	-2,72E+00	-0,06	0,0301
$5\pi/4$	0,816	0,1414	-5,001	-3,11E+00	0,01	0,0304
$6\pi/4$	0,980	0,2000	-4,851	-1,68E+00	0,08	0,0129
$7\pi/4$	1,143	0,1414	-1,859	7,31E-01	0,10	-0,0122
2π	1,306	0,0000	2,221	2,72E+00	0,06	-0,0301



Gambar 4.10. Grafik gerakan heaving kapal (3) pada section 1



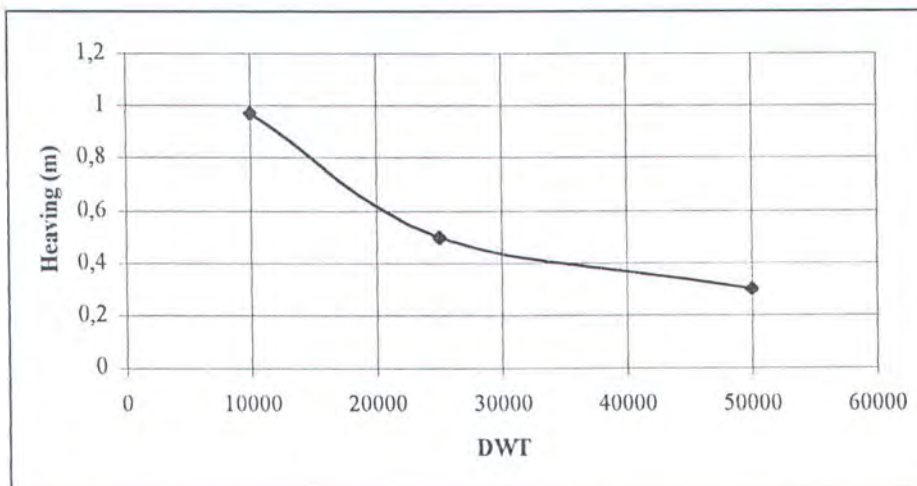
Gambar 4.11. Grafik gerakan pitching kapal (3) pada section 1

Gambar 4.10. menunjukkan bahwa pada kapal (3) dengan massa 10.000 DWT dan panjang 100 m yang belayar pada section (1) terjadi gerakan heaving maksimum

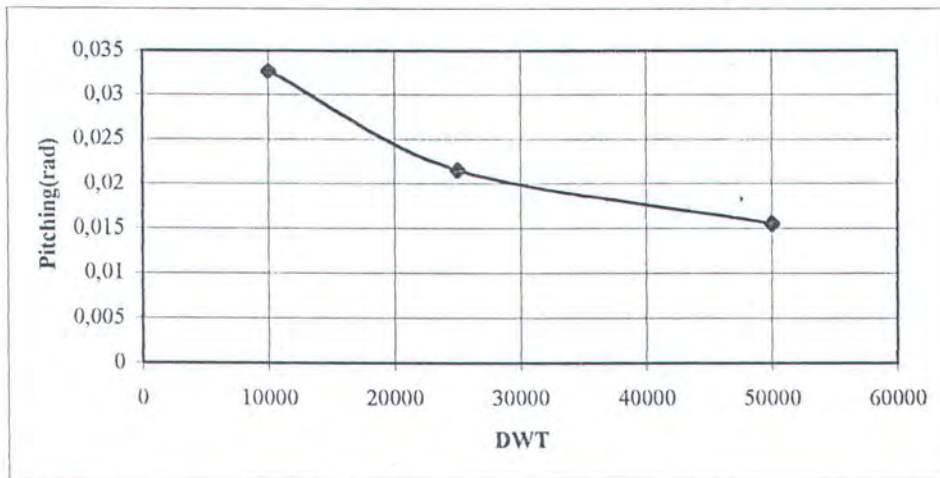


3,1939 ft (= 97 cm) pada waktu 0,15 dan 0,78 detik. Sedangkan gambar 4.11. menunjukkan bahwa pada daerah dan kapal yang sama terjadi gerakan pitching maksimum 0,0327 rad (= 1,8719°) pada waktu (t) 0,082 dan 0,7345 detik sehingga tinggi pitching maksimum adalah $\tan(1,8719) \times (100/2) = 1,63$ m.

Dari hasil perhitungan gerak couple heaving-pitching kapal yang berlayar pada alur section 1 (Tanjung sawo) dimana tinggi gelombang (H) = 3,186 m dan periode (T) = 10,291 detik, diketahui bahwa semakin kecil massa kapal dan panjang kapal maka besarnya heaving maupun pitching semakin besar. Akan tetapi perubahan besarnya heaving dan pitching kapal tidak signifikan sehingga dalam perencanaan alur pelayaran yang digunakan adalah kapal dengan massa dan draft terbesar. Hubungan gerak kapal dengan bobot mati kapal dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.12. Grafik hubungan antara massa kapal dengan gerak Heaving pada section 1

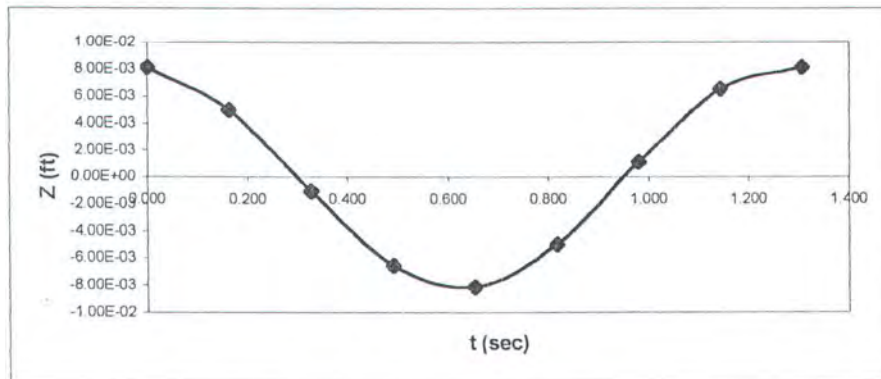


Gambar 4.13. Grafik hubungan antra massa kapal dengan gerak pitching pada section 1

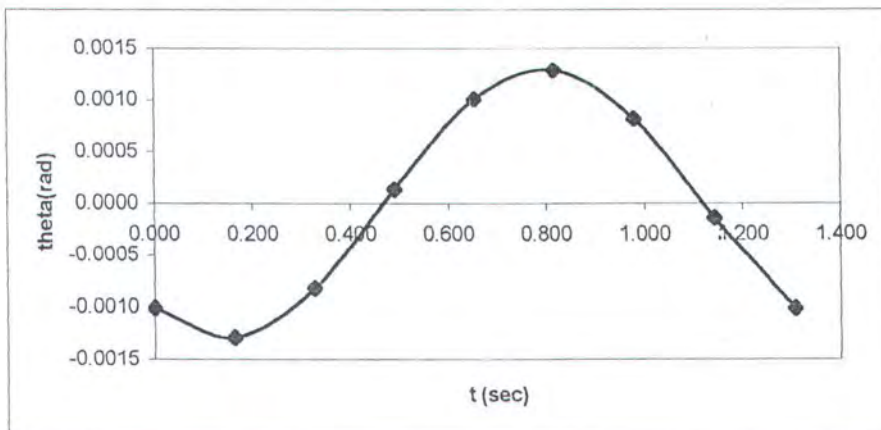
Sesuai dengan pernyataan diatas maka untuk section 2, 3, 4 dan 5 akan digunakan kapal terbesar saja sebagai perhitungan gerak couple heaving-pitchingnya. Dimana dalam perhitungan tersebut digunakan tinggi gelombang (H) = 1,087 m dan periode (T) = 5,8 detik. Ringkasan hasil perhitungan couple heaving-pitching pada section 2, 3, 4 dan 5 dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 4.6. Hasil perhitungan gerak couple heaving-pitching kapal (1) pada section 2, 3, 4 dan 5

$\omega \cdot t$ (rad)	t (sec)	ζ (ft)	F (lb)	z (ft)	M (ft-lb)	θ (rad)
0	0,000	0	0,080	8,13E-03	1,61	-0,0010
$\pi/4$	0,163	-0,1414	0,195	4,98E-03	0,21	-0,0013
$\pi/2$	0,327	-0,2000	0,196	-1,09E-03	-1,32	-0,0008
$3\pi/4$	0,490	-0,1414	0,082	-6,52E-03	-2,07	0,0001
π	0,653	0,0000	-0,080	-8,13E-03	-1,61	0,0010
$5\pi/4$	0,816	0,1414	-0,195	-4,98E-03	-0,21	0,0013
$6\pi/4$	0,980	0,2000	-0,196	1,09E-03	1,32	0,0008
$7\pi/4$	1,143	0,1414	-0,082	6,52E-03	2,07	-0,0001
2π	1,306	0,0000	0,080	8,13E-03	1,61	-0,0010



Gambar 4.14. Grafik gerak heaving kapal(1) pada section 2,3,4 dan 5



Gambar 4.15. Grafik gerak pitching kapal (1) pada section 2,3,4 dan 5

Dari gambar 4.14. menunjukkan bahwa pada kapal (1) dengan massa 50.000 DWT dan panjang 200 m yang belayar pada section (1) terjadi gerakan heaving maksimum 0,0082 ft (= 0,25 cm) pada waktu (t) 0 dan 1,31 detik. Sedangkan gambar 4.15. menunjukkan bahwa pada daerah dan kapal yang sama terjadi gerakan pitching maksimum 0,0013 rad (= 0,0725°) pada waktu (t) 0,163 dan 0,816 detik, sehingga tinggi pitching maksimum adalah $\tan(0,0725) \times (200/2) = 0,13$ m.



4.4. Tinjauan ukuran minimal alur.

4.4.1. Penentuan lebar alur minimal

Dalam menentukan dimensi alur minimal ini digunakan ukuran kapal terbesar yang berlayar di Selat Madura sebagai berikut :

- Bobot mati (DWT) : 51.150 ton
- Panjang kapal (Loa) : 279 m
- Lebar (B) : 37,8 m
- Sarat kapal (T) : 12,5 m

Perencanaan alur disini hanya untuk satu jalur pelayaran, sehingga dalam menentukan lebar alur minimal digunakan rumus berikut :

$$\begin{aligned} B_{A_min} &= 4 B \\ &= 151,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan kondisi alur sekarang dimana lebar minimal 245,375 m, maka dapat dikatakan bahwa syarat lebar alur minimal hasil perhitungan diatas sudah terpenuhi.

4.4.2. Penentuan kedalaman alur minimal

Pertimbangan utama dalam menentukan kedalaman minimal alur pelayaran ini adalah agar kapal rencana dapat berlayar dengan aman, disamping itu perlu juga pertimbangan biaya pengerukan dan perawatan yang minimal. Penentuan kedalaman alur minimal dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$D_{A_min} = T + S_q + W + C + I_r$$



Dimana :

- T : sarat kapal (m)
Sq : squat (m)
W : gerak kapal akibat gelombang (m)
C : ruang bebas yang diperlukan pada saat kapal berlayar (m)
Ir : irregularitas dasar laut (m)

Untuk ruang bebas (C) yang diperlukan pada saat kapal berlayar diasumsikan sebesar 10 % dari draft kapal rencana (T) yang besarnya 12,5 m, berlaku untuk kondisi alur yang tidak terbuka terhadap gelombang. Jadi besarnya C adalah 1,25 m. Sedangkan nilai irregularitas kondisi dasar laut biasanya antara 0,1 – 1,5 m dan disini diambil 0,3 m.

Pada section 1 dan 4 (Tanjung Sawo dan Pelabuhan Gresik) besarnya Squat kapal yang terjadi adalah 1,862 m, sedangkan gerak kapal rencana pada section 1 sebesar 1,85 m dan pada section 4 sebesar 0,13 m. Sehingga diperoleh kedalaman minimal alur section 1 sebesar 17,762 m dan section 4 sebesar 16,042 m.

Pada section 2,3 dan 5 (Kali Mertani, Kali Mireng dan Kali Lamong) besarnya Squat kapal yang terjadi adalah 1,31 m, sedangkan gerak kapal rencana sebesar 0,13 m. Sehingga diperoleh kedalaman minimal alur sebesar 15,49 m. Karena kondisi kedalaman alur sekarang ini baik pada section 2,3 dan 5 masih dibawah hasil perhitungan kedalaman alur minimal maka perlu dilakukan pengerukan agar kapal rencana tersebut dapat berlayar di alur dengan aman.



Tabel 4.7. Hasil perhitungan ukuran kedalaman alur minimal

Section			1	2	3	4	5
Deadweight	DWT	ton	51150	51150	51150	51150	5150
Length overall	Loa	m	279	279	279	279	279
Draft	T	m	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Beam	B	m	37,8	37,8	37,8	37,8	37,8
Elevation clearance	W	m	1,85	0,13	0,13	0,13	0,13
Channel clearance	C	m	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Irrigularitas	Ir	m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Depth parameter	h/d		1,6	1,2	1,2	1,6	1,2
Width parameter	Bo/B		6,49	6,49	6,49	6,49	6,49
Cross-sect. parameter	As/Ac		0,0963	0,1284	0,1284	0,0963	0,1284
Ship speed max.	Vs	m/s	8,7	6,946	6,946	8,7	6,946
Squat	Z	m	1,862	1,31	1,31	1,862	1,31
Squat parameter	Z/h		0,093	0,087	0,087	0,093	0,087
Real depth parameter	(1-Z/h)*h/d		1,4512	1,0956	1,0956	1,4512	1,0956
Minimum depth	Da_min	m	17,762	15,49	15,49	16,042	15,49

4.4.3. Parameter perencanaan alur pelayaran

Ada tiga parameter utama yang digunakan untuk menentukan ukuran penampang alur yaitu :

a. Parameter kedalaman atau h_o/d

Untuk alur pelayaran satu jalur dengan bentuk alur trapezoidal harga h_o/d harus lebih besar dari 1,3. Dari tabel 4.7. diatas diketahui bahwa pada section 1 dan 4 harga h_o/d adalah 1,6 sehingga sudah memenuhi kriteria. Akan tetapi pada section 2,3 dan 5 harga h_o/d adalah 1,2 sehingga belum memenuhi kriteria. Agar pada section 2,3 dan 5 ini memenuhi kriteria maka perlu memperbesar nilai h_o atau dengan kata lain menambah kedalaman alur.



b. Parameter lebar atau B_o/b

Untuk alur satu jalur dengan kapal kelas V keatas maka harga B_o/b harus lebih dari 4,0. Dari tabel 4.7. diatas dapat kita ketahui bahwa baik pada section 1,2,3,4 maupun 5 harga B_o/b adalah 6,49 sehingga dapat disimpulkan bahwa semua section tersebut telah memenuhi kriteria.

c. Parameter penampang atau As/Ac

Untuk profil penampang alur yang tipe trapesium atau tipe kombinasi berlaku rumus sebagai berikut :

$$\frac{h_o}{d} \times \frac{B_o}{b} < \frac{1}{As / Ac}$$

Dari rumus tersebut untuk section 1 dan 4 diperoleh nilai ruas kiri 10,384 sedangkan ruas kanan 10,3842 sehingga kriteria diatas sudah terpenuhi. Untuk section 2,3 dan 5 diperoleh ruas kiri 7,788 sedang ruas kanan 7,7882 sehingga sudah mamenuhi kriteria.

4.4.4. Analisa operasional

Dari hasil perhitungan diatas dimana pada kondisi kedalaman terendah (surut) dapat diketahui bahwa kapal terbesar yang akan berlayar dialur pada section 1 dan 4 sudah aman, tetapi untuk section 2,3 dan 5 kedalaman yang ada saat ini belum mencukupi. Agar kapal terbesar tersebut dapat berlayar dengan aman maka ada beberapa cara yang bisa dilakukan yaitu :



a) Pengerukan pada section 2, 3 dan 5.

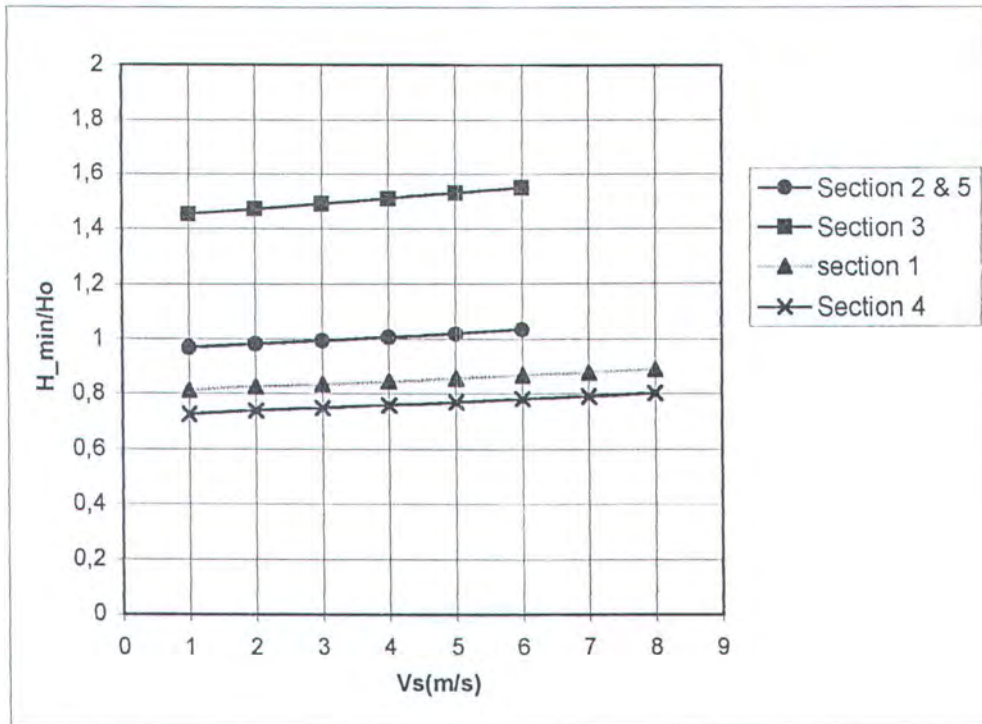
Kondisi saat ini kedalaman alur terendah pada section 2 = 15 m, section 3 = 10 m dan section 5 = 15 m. Sedangkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa kedalaman minimal agar kapal terbesar tersebut dapat berlayar dengan aman adalah 15,49 m. Untuk itu perlu dilakukan pengerukan pada section 2,3 dan 5 tersebut minimal sampai kedalaman 15,49 m.

b) Menunggu air pasang.

Dimana agar kapal terbesar dapat berlayar dialur dengan aman khususnya pada section 2 dan 5 maka perlu menunggu saat air laut pasang dimana kedalamannya sampai memenuhi kedalaman minimal hasil perhitungan yaitu 15,49 m. Seperti telah ditulis pada analisa kondisi alur bahwa kedalaman maksimum perairan pada waktu pasang untuk section 2 dan 5 adalah 16,76 m sehingga kedalaman tersebut sudah memenuhi kedalaman minimal. Sedangkan section 3 (kedalaman 10 m) harus dilakukan pengerukan karena meskipun saat itu kondisi pasang tertinggi (11,76 m) ternyata masih jauh dibawah kedalaman minimal alur yang disyaratkan.

c) Mengurangi kecepatan kapal.

Dengan mengurangi kecepatan kapal dialur khususnya pada section 2,3 dan 5 maka akan mempengaruhi besarnya squat kapal sehingga pada akhirnya kedalaman minimal alur semakin rendah. Hasil perhitungan squat (Z) dengan kecepatan kapal (V_s) yang berubah-ubah dapat dilihat pada lampiran A. Grafik perubahan kecepatan kapal (V_s) sebagai berikut :



Gambar 4.16. Grafik hubungan antara Vs dengan H_{\min}/H_o

Dari gambar 4.16. dapat dijelaskan bahwa H_{\min} adalah kedalaman minimal yang direncanakan sedangkan H_o adalah kedalaman kondisi sekarang. Alur tersebut sudah dapat dikatakan aman apabila hasil perbandingan antara $H_{\min}/H_o \leq 1$. Sehingga dapat kita ketahui bahwa pada section 1 dan 4 kondisinya sudah aman sedangkan section 3 belum aman meskipun dengan kecepatan minimal. Untuk section 2 dan 5 sudah aman dengan syarat kecepatan kapal tidak lebih dari 3 m/s.

d) Mengurangi muatan

Cara lain agar kapal dapat berlayar dengan aman di alur yaitu dengan mengurangi muatan pada waktu kapal akan masuk alur khususnya sebelum



section 2 sampai draft kapal (T) 12 m sehingga dapat mengurangi kedalaman minimal alur rencana menjadi 14,99 m. Sehingga kedalaman saat ini (15 m) sudah memenuhi syarat kedalaman minimal alur.



BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. Pada section 1 (Tanjung Sawo) dengan kapal terbesar ($T = 12,5$ m) yang berlayar dialur, dengan kecepatan kapal 8 m/s, besarnya squat kapal (Z) maksimum yang terjadi 1,862 m dan amplitudo maksimum gerak couple heaving-pitching kapal 1,85 m. Dengan memasukkan beberapa parameter diperoleh kedalaman minimal alur pada section 1 yang disyaratkan adalah 17,762 m, untuk itu dapat dinyatakan bahwa kedalaman alur pada section I saat ini (20 m) masih aman.
- b. Pada section 2,3 dan 5 (depan Kali Mertani, Kali Mireng dan Kali Lamong) dengan kapal terbesar ($T = 12,5$ m) yang berlayar dialur, dengan kecepatan kapal 6 m/s, besarnya squat kapal (Z) maksimum yang terjadi 1,31 m dan amplitudo maksimum gerak couple heaving-pitching kapal 0,13 m. Dengan memasukkan beberapa parameter diperoleh kedalaman minimal alur pada section 2 yang disyaratkan adalah 15,49 m untuk itu dapat dinyatakan bahwa kedalaman alur saat ini dimana section 2 dan 5 (15 m) sedangkan section 3 (10 m) belum aman.



- c. Pada section 4 (Pelabuhan Gresik) dengan kapal terbesar ($T = 12,5$ m) yang berlayar dialur, dengan kecepatan kapal 8 m/s, besarnya squat kapal (Z) maksimum yang terjadi 1,862 m dan amplitudo maksimum gerak couple heaving-pitching kapal 0,13 m. Dengan memasukkan beberapa parameter diperoleh kedalaman minimal alur pada section 1 yang disyaratkan adalah 16,042 m untuk itu dapat dinyatakan bahwa kedalaman alur section 4 saat ini (20 m) masih aman.

5.1. Saran

Dalam penulisan tugas akhir ini masih ada beberapa kelemahan yang perlu diperbaiki untuk penelitian selanjutnya. Karena itu penulis memberikan saran sebagai berikut :

- Untuk alur pelayaran yang padat dengan dua jalur perlu diperhitungkan pola gerak kapal ketika berpapasan dan ketika berjajar dalam evaluasi ukuran alur.
- Nilai koreksi bentuk badan kapal α perlu diselidiki lebih jauh sehingga diperoleh nilai yang sesuai dengan bentuk badan kapal.
- Karena Schijf menganggap bahwa alur lurus tak terbatas, maka untuk daerah belokan perlu dilakukan studi yang lebih mendalam.
- Perlu adanya perhatian khusus mengenai arus, baik besar maupun arahnya karena dapat mempengaruhi pola pergerakan kapal di alur.



- e. Perlu dilakukan analisa biaya, baik biaya pengerukan dari pihak pelabuhan maupun biaya kecelakaan dari pemilik kapal sehingga diperoleh keadaan yang saling menguntungkan semua pihak.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. Bhattacharyya, R., "*Dynamics of Marine Vehicles*", John Wiley & Sons, New York, 1978.
2. Bindra, S.P., "*Dock and Harbour Engineering*", Dhanpat Rai & Sons, Delhi, 1978
3. Bruun, P., "*Port Engineering*", Gulf Publishing Company, Houston, 1981.
4. Groenvelde, R., "*Inland Waterways*", TU Delft, The Netherlands, 1997.
5. Karmadibrata, S., "*Perencanaan Pelabuhan*", Ganeca Exact Bandung, Bandung, 1985
6. Murdjito, Laporan Penelitian "*Model Perencanaan Alur Pelabuhan Berdasar Pertimbangan keselamatan dan Resiko*", ITS, Surabaya, 2001.
7. Thorensen, Carl., "*Port Design : Guidelines and Recommendation*", Trondheim, Norway, 1988.
8. Triadmodjo, B., "*Pelabuhan*", Beta Offset, Yogyakarta, 1996.
9. Widyastuti, dkk., "*Laporan Penelitian : Optimasi Kerdalkaman Pengerukan Alur Pelayaran Barat Suiabaya dengan Program Komputer Simulasi Bahasa Prosim*", ITS, Surabaya, 1991



LEMBAR ASISTENSI



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS, Sukolilo Surabaya 60111 Telp / Fax. (031) 5928105, 5994251-5 Psw. 1104 - 1105

LEMBAR PRESENTASI KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : MAMIK SUMARTONO
NRP : 4397100017
Dosen Pembimbing :
Tugas Dimulai :
Diselesaikan :
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN ALUR PELAYARAN DI
SELAT MADURA DENGAN METODE SCHIFF

No.	Tanggal	Konsultasi Mengenai.	Tanda Tangan Dosen Pembimbing
1.	7. 5. 2002	Cerita	
2.	20 - 5 - 2002	Asistensi Bab I	
3.	3 - 6 - 2002	Asistensi Bab II & III	
4.	5 - 7 - 2002	Asistensi Bab IV	
5.	16 - 7 - 2002	Asistensi Bab V	
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS, Sukolilo Surabaya 60111 Telp / Fax. (031) 5928105, 5994251-5 Psw. 1104 – 1105

LEMBAR PRESENTASI KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : MAMIK SUHARTONO
NRP : 4397 100 017
Dosen Pembimbing :
Tugas Dimulai :
Diselesaikan :
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN ALUR PELAYARAN DI
SELAT MADURA DENGAN METODE SCHIFF

No.	Tanggal	Konsultasi Mengenai.	Tanda Tangan Dosen Pembimbing
1.			
2.			
3.			
4.	16/04 2002	Penurunan Schiff	
5.	1/05 2002	Analisa model Schiff	
6.	3/06 2002	Model gerak kapal	
7.	5/07 2002	Laporan bab II/III	
8.	16/07 2002	Laporan bab 1-4	
9.			
10.			



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111 Telp 5947274, 5947254 psw 144 telex 34224 fax 597254

FORMULIR EVALUASI KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Kami, dosen pembimbing Tugas Akhir dari mahasiswa :

Nama : Mamik Suhartono

Nrp : 4397 100 017

Judul TA : Perencanaan Alur Pelayaran Selat Madura dengan Menggunakan
Metode Schijf

Setelah mempertimbangkan butir-butir berikut :

- Keaktifan mahasiswa dalam mengadakan asistensi.
- Proporsi materi TA yang telah diselesaikan sampai saat ini.
- Prospek penyelesaian TA dalam jangka waktu yang relevan.
- Masa studi yang tersisa.

Dengan ini kami mengusulkan agar TA mahasiswa tersebut diputuskan untuk

- ☐ Dibatalkan keseluruhannya dan mengajukan judul baru.
☐ Diperkenankan menyelesaikan tanpa perubahan.
☒ Diperkenankan mengikuti ujian Tugas Akhir dengan judul tetap ~~berubah~~.

Selanjutnya mahasiswa di atas diharuskan untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhirnya
dan dapat mengikuti ujian Tugas Akhir untuk wisuda ~~September~~ 2002.

Surabaya, 31 Juli 2002

Dosen pembimbing I

Dr. Ir. Wisnu Wardhana, MSc
Nip. 68 001 934

Dosen pembimbing II

Ir. Mardjito, MSc. Eng.
Nip. 132 149 376



LAMPIRAN A

Perhitungan Squat (Z) dengan metode Schijf

Program MATLAB untuk perhitungan Squat (Z)

```
» %-----
% pada daerah section 1 dan 4 (Tanjung Sawo dan Pelabuhan Gresik)
% hitung As
%-----
L=37.8; % lebar midship kapal (m)
d=12.5; % draft kapal (m)
As=L*d % luasan penampang melintang kapal (m2)

%-----
%hitung Ac
%-----
h=20; % kedalaman alur (m)
B=245.375; % lebar alur (m)
Ac=h*B % luasan penampang melintang alur (m2)

%-----
%hitung m
%-----
m = As/Ac

%-----
%hitung Fr
%-----
Fr=0.78*((1-m)^2.25)

%-----
%hitung batas kecepatan maksimum kapal(Vlim)
%-----
g=9.81
Vlim = Fr*((g*h)^(1/2))

%-----
%diambil kecepatan yang paling maksimum(pakai max_Vlim)
%hitung depresi permukaan air maksimum (Zlim)
%-----
Zlim = (h/3)*(1- m -((Vlim^2)/(g*h)))
%hitung Ulim
Ulim = (((2/3)*(1-m+(1/2)*(Vlim^2)/(g*h)))^(1/2))*(g*h)^(1/2))-Vlim

%-----
%menghitung kecepatan arus (U)
%-----
for Vs = 1:Vlim;
```



```

a = (1.4-(0.4*(Vs/Vlim)))

c = 2*g*h
d = Ac*c
e = 3*a*Ac*Vs
f = (((3*a)-1)*Ac*(Vs^2))-(d)+(As*c)
i = (a-1)*Ac*(Vs^3)+(As*c*Vs)
j = a*Ac
q = [j e f i]
k = roots(q)
U = median(k)
end

%-----
% mencari besarnya nilai Squat Z
%-----
for Vs=1:Vlim;
    Z = (a*(((Vs+U)^2)/(2*g)))-((Vs^2)/(2*g))
    Pa=(2*(Z/h)/(a*((1-m-(Z/h))^2)-1))^(1/2)
    Pu=((1/(1-m-(Z/h)))-1)*(Vs/((g*h)^(1/2)))
end

```

As =	e =
472.5000	1.9935e+004
Ac =	f =
4.9075e+003	-1.7253e+006
m =	i =
0.0963	1.8715e+005
Fr =	j =
0.6211	6.6449e+003
g =	q =
9.8100	1.0e+006 *
Vlim =	0.0066 0.0199 -1.7253 0.1871
8.7000	k =
Zlim =	-17.7320
3.4529	14.6234
Ulim =	0.1086
3.2765	U =
a =	0.1086
1.3540	a =
c =	1.3080
392.4000	c =
d =	392.4000
1.9257e+006	d =
	1.9257e+006

e =
 3.8515e+004
 f =
 -1.6829e+006
 i =
 3.8291e+005
 j =
 6.4192e+003
 q =
 1.0e+006 *
 0.0064 0.0385 -1.6829 0.3829
 k =
 -19.5594
 13.3306
 0.2288
 U =
 0.2288
 a =
 1.2621
 c =
 392.4000
 d =
 1.9257e+006
 e =
 5.5742e+004
 f =
 -1.6172e+006
 i =
 5.9095e+005
 j =
 6.1936e+003
 q =
 1.0e+006 *
 0.0062 0.0557 -1.6172 0.5910
 k =
 -21.4062
 12.0359
 0.3703
 U =
 0.3703
 a =
 1.2161
 c =
 392.4000
 d =
 1.9257e+006

e =
 7.1616e+004
 f =
 -1.5324e+006
 i =
 8.0951e+005
 j =
 5.9680e+003
 q =
 1.0e+006 *
 0.0060 0.0716 -1.5324 0.8095
 k =
 -23.2797
 10.7371
 0.5427
 U =
 0.5427
 a =
 1.1701
 c =
 392.4000
 d =
 1.9257e+006
 e =
 8.6135e+004
 f =
 -1.4323e+006
 i =
 1.0314e+006
 j =
 5.7423e+003
 q =
 1.0e+006 *
 0.0057 0.0861 -1.4323 1.0314
 k =
 -25.1864
 9.4302
 0.7562
 U =
 0.7562
 a =
 1.1241
 c =
 392.4000
 d =
 1.9257e+006

e =
 9.9301e+004
 f =
 -1.3212e+006
 i =
 1.2440e+006
 j =
 5.5167e+003
 q =
 1.0e+006 *
 0.0055 0.0993 -1.3212 1.2440
 k =
 -27.1327
 8.1076
 1.0251
 U =
 1.0251
 a =
 1.0782
 c =
 392.4000
 d =
 1.9257e+006
 e =
 1.1111e+005
 f =
 -1.2030e+006
 i =
 1.4294e+006
 j =
 5.2911e+003
 q =
 1.0e+006 *
 0.0053 0.1111 -1.2030 1.4294
 k =
 -29.1248
 6.7508
 1.3740
 U =
 1.3740
 a =
 1.0322
 c =
 392.4000
 d =
 1.9257e+006

e =
 1.2157e+005
 f =
 -1.0818e+006
 i =
 1.5641e+006
 j =
 5.0654e+003
 q =
 1.0e+006 *
 0.0051 0.1216 -1.0818 1.5641
 k =
 -31.1696
 5.3006
 1.8690
 U =
 1.8690
 Z =
 0.3820
 Pa =
 0.3461
 Pu =
 0.0093
 Z =
 0.5836
 Pa =
 0.4086
 Pu =
 0.0205
 Z =
 0.7885
 Pa =
 0.4545
 Pu =
 0.0336
 Z =
 0.9966
 Pa =
 0.4897
 Pu =
 0.0489
 Z =
 1.2080
 Pa =
 0.5173
 Pu =

0.0663

Z =

1.4227

Pa =

0.5394

Pu =

0.0861

Z =

1.6407

Pa =

0.5570

Pu =

0.1084

Z =

1.8619

Pa =

0.5711

Pu =

0.1334



LAMPIRAN B

Perhitungan gerak heaving-pitching kapal

Perhitungan gerak cuople heaving-pitching kapal (I)
Pada lokasi section I (Tanjung Sawo)

Diketahui:

Panjang	L	:	656	ft
Lebar	B	:	90	ft
Draft	T	:	39	ft
Coeff.blok	Cb	:	0.75	
Longitudinal center of gravity	LCG	:	16.4	ft depan midship
Longitudinal center of buoyancy	LCB	:	16.4	ft depan midship
Kecepatan kapal	U	:	26.25	ft/s
Panjang gelombang	Lw	:	472.92	ft
Amplitudo gelombang	ζa	:	5.23	ft
Kecepatan gelombang	Vw	:	45.95	ft/s
Massa jenis air laut	ρ	:	64	lb/ft3
freq.encounter	ωe	:	0.305	rad/sec
gravitasi	g	:	32.17	ft/sec2

Tabel 1. kalkulasi untuk an dan Ayy

stat no	Bn	Tn	Sn	ξ	(ωe ² /2g)Bn	Bn/Tn	Bn*Tn	βn	C
						2/3	2x3	4/8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	39	0	311.6	0.00	0.00	0	0	0
1	18	39	509.65	278.8	0.03	0.46	702	0.726	1.55
2	32	39	1359	246	0.05	0.82	1248	1.08894	1.45
3	46	39	1868	213.2	0.07	1.18	1794	1.04125	1.45
4	68	39	2548	180.4	0.10	1.74	2652	0.96078	1.36
5	77	39	3058	147.6	0.11	1.97	3003	1.01832	1.17
6	90	39	3397.68	114.8	0.13	2.31	3510	0.968	1.05
7	90	39	3397.68	82	0.13	2.31	3510	0.968	1.05
8	90	39	3397.68	49.2	0.13	2.31	3510	0.968	1.05
9	90	39	3397.68	16.4	0.13	2.31	3510	0.968	1.05
10	90	39	3397.68	-16.4	0.13	2.31	3510	0.968	1.05
11	90	39	3397.68	-49.2	0.13	2.31	3510	0.968	1.05
12	90	39	3397.68	-82	0.13	2.31	3510	0.968	1.05
13	90	39	3397.68	-114.8	0.13	2.31	3510	0.968	1.05
14	90	39	3397.68	-147.6	0.13	2.31	3510	0.968	1.05
15	90	39	3397.68	-180.4	0.13	2.31	3510	0.968	1.05
16	78	39	3058	-213.2	0.11	2.00	3042	1.00526	1.15
17	56	39	2548	-246	0.08	1.44	2184	1.16667	1.45
18	38	39	1699	-278.6	0.05	0.97	1482	1.14642	1.55
19	16	39	679	-311.4	0.02	0.41	624	1.08814	1.75
20	0	39	0	-344.4	0.00	0.00	0	0	0

B ²	($\rho \cdot \pi / 8$)*B ²	an	S M	prd	s2	an.s2	SM	prd
2x2		12x10		13x14	5x5	13x16		17x18
11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	0	0	1	0	97094.6	0	1	0
324	8621.64	13363.5	4	53454.2	77729.4	1E+09	4	4.155E+09
1024	27248.6	39510.5	2	79021.1	60516	2.4E+09	2	4.782E+09
2116	56306.8	81644.8	4	326579	45454.2	3.7E+09	4	1.484E+10
4624	123045	167341	2	334681	32544.2	5.4E+09	2	1.089E+10
5929	157771	184592	4	738367	21785.8	4E+09	4	1.609E+10
8100	215541	226318	2	452636	13179	3E+09	2	5.965E+09
8100	215541	226318	4	905272	6724	1.5E+09	4	6.087E+09
8100	215541	226318	2	452636	2420.64	5.5E+08	2	1.096E+09
8100	215541	226318	4	905272	268.96	6.1E+07	4	243482011
8100	215541	226318	2	452636	268.96	6.1E+07	2	121741005
8100	215541	226318	4	905272	2420.64	5.5E+08	4	2.191E+09
8100	215541	226318	2	452636	6724	1.5E+09	2	3.044E+09
8100	215541	226318	4	905272	13179	3E+09	4	1.193E+10
8100	215541	226318	2	452636	21785.8	4.9E+09	2	9.861E+09
8100	215541	226318	4	905272	32544.2	7.4E+09	4	2.946E+10
6084	161895	186180	2	372359	45454.2	8.5E+09	2	1.693E+10
3136	83449	121001	4	484004	60516	7.3E+09	4	2.929E+10
1444	38424.8	59558.5	2	119117	77618	4.6E+09	2	9.246E+09
256	6812.16	11921.3	4	47685.1	96970	1.2E+09	4	4.624E+09
0	0	0	1	0	118611	0	1	0
			sum1=	9344809			sum2=	1.80845E+11

Tabel 2. kalkulasi b dan B

station no	We2/2g(B)	B/T	βn	A	A2	bn	SM	prod	ξ^2	bn. ξ^2	SM	prd
					5x5			7x8		7x10		11x12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0.00	0.00	0	0	0	0	1	0	97094.56	0	1	0
1	0.03	0.46	0.726	0.054	0.00292	206.5585	4	826.234	77729.44	16055679	4	64222717
2	0.05	0.82	1.08894	0.084	0.00706	499.8207	2	999.641	60516	30247146	2	60494293
3	0.07	1.18	1.04125	0.104	0.01082	766.165	4	3064.66	45454.24	34825447	4	1.39E+08
4	0.10	1.74	0.96078	0.184	0.03386	2398.232	2	4796.46	32544.16	78048460	2	1.56E+08
5	0.11	1.97	1.01832	0.204	0.04162	2947.922	4	11791.7	21785.76	64222717	4	2.57E+08
6	0.13	2.31	0.968	0.234	0.05476	3878.71	2	7757.42	13179.04	51117678	2	1.02E+08
7	0.13	2.31	0.968	0.234	0.05476	3878.71	4	15514.8	6724	26080448	4	1.04E+08
8	0.13	2.31	0.968	0.234	0.05476	3878.71	2	7757.42	2420.64	9388961	2	18777922
9	0.13	2.31	0.968	0.234	0.05476	3878.71	4	15514.8	268.96	1043218	4	4172872
10	0.13	2.31	0.968	0.234	0.05476	3878.71	2	7757.42	268.96	1043218	2	2086436
11	0.13	2.31	0.968	0.234	0.05476	3878.71	4	15514.8	2420.64	9388961	4	37555845
12	0.13	2.31	0.968	0.234	0.05476	3878.71	2	7757.42	6724	26080448	2	52160895
13	0.13	2.31	0.968	0.234	0.05476	3878.71	4	15514.8	13179.04	51117678	4	2.04E+08
14	0.13	2.31	0.968	0.234	0.05476	3878.71	2	7757.42	21785.76	84500651	2	1.69E+08
15	0.13	2.31	0.968	0.234	0.05476	3878.71	4	15514.8	32544.16	1.26E+08	4	5.05E+08
16	0.11	2.00	1.00526	0.204	0.04162	2947.922	2	5895.84	45454.24	1.34E+08	2	2.68E+08
17	0.08	1.44	1.16667	0.114	0.013	920.588	4	3682.35	60516	55710306	4	2.23E+08
18	0.05	0.97	1.14642	0.094	0.00884	625.9092	2	1251.82	77617.96	48581795	2	97163589
19	0.02	0.41	1.08814	0.024	0.00058	40.80169	4	163.207	96969.96	3956538	4	15826151
20	0.00	0.00	0	0	0	0	1	0	118611.36	0	1	0
sum3=							148833.2			sum4= 2.48E+09		

Tabel 3 kalkulasic&C

station no	B	cn	SM	prod	ξ^2	cn. ξ^2	SM	prd	
				3x4		3x6		7x8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	0	0	1	0	97094.6	0	1	0	
1	18	811.46	4	3245.84	77729.4	6.3E+07	4	2.5E+08	
2	32	1747.76	2	3495.52	60516	1.1E+08	2	2.1E+08	
3	46	2684.06	4	10736.2	45454.2	1.2E+08	4	4.9E+08	
4	68	3620.36	2	7240.72	32544.2	1.2E+08	2	2.4E+08	
5	77	4556.66	4	18226.6	21785.8	9.9E+07	4	4E+08	
6	90	5492.96	2	10985.9	13179	7.2E+07	2	1.4E+08	
7	90	5492.96	4	21971.8	6724	3.7E+07	4	1.5E+08	
8	90	5492.96	2	10985.9	2420.64	1.3E+07	2	2.7E+07	
9	90	5492.96	4	21971.8	268.96	1477387	4	5909546	
10	90	5492.96	2	10985.9	268.96	1477387	2	2954773	
11	90	5492.96	4	21971.8	2420.64	1.3E+07	4	5.3E+07	
12	90	5492.96	2	10985.9	6724	3.7E+07	2	7.4E+07	
13	90	5492.96	4	21971.8	13179	7.2E+07	4	2.9E+08	
14	90	5492.96	2	10985.9	21785.8	1.2E+08	2	2.4E+08	
15	90	5492.96	4	21971.8	32544.2	1.8E+08	4	7.2E+08	
16	78	4244.56	2	8489.12	45454.2	1.9E+08	2	3.9E+08	
17	56	2996.16	4	11984.6	60516	1.8E+08	4	7.3E+08	
18	38	1747.76	2	3495.52	77618	1.4E+08	2	2.7E+08	
19	16	499.36	4	1997.44	96970	4.8E+07	4	1.9E+08	
20	0	0	1	0	118611	0	1	0	
			sum5=	233700.5				sum6=	4.86E+09

Tabel 4. kalkulasi d,e,h,D,E,H

station no	ξ	an	an. ξ	SM	prod	bn	bn. ξ
					4.5		2.7
1	2	3	4	5	6	7	8
0	311.6	0	0	1	0	0	0
1	278.8	13363.5	3725756	4	1.5E+07	206.5585	57588.5
2	246	39510.5	9719590	2	1.9E+07	499.8207	122956
3	213.2	81644.8	1.7E+07	4	7E+07	766.165	163346
4	180.4	167341	3E+07	2	6E+07	2398.232	432641
5	147.6	184592	2.7E+07	4	1.1E+08	2947.922	435113
6	114.8	226318	2.6E+07	2	5.2E+07	3878.71	445276

7	82	226318	1.9E+07	4	7.4E+07	3878.71	318054
8	49.2	226318	1.1E+07	2	2.2E+07	3878.71	190833
9	16.4	226318	3711616	4	1.5E+07	3878.71	63610.8
10	-16.4	226318	-4E+06	2	-7E+06	3878.71	-63611
11	-49.2	226318	-1E+07	4	-4E+07	3878.71	-190833
12	-82	226318	-2E+07	2	-4E+07	3878.71	-318054
13	-114.8	226318	-3E+07	4	-1E+08	3878.71	-445276
14	-147.6	226318	-3E+07	2	-7E+07	3878.71	-572498
15	-180.4	226318	-4E+07	4	-2E+08	3878.71	-699719
16	-213.2	186180	-4E+07	2	-8E+07	2947.922	-628497
17	-246	121001	-3E+07	4	-1E+08	920.588	-226465
18	-278.6	59558.5	-2E+07	2	-3E+07	625.9092	-174378
19	-311.4	11921.3	-4E+06	4	-1E+07	40.80169	-12706
20	-344.4	0	0	1	0	0	0

SM	prod	cn	cn.ξ	SM	prod
	8.9		2.11		12.13
9	10	11	12	13	14
1	0	0	0	1	0
4	230354.1	811.46	226235	4	904940.192
2	245911.8	1747.76	429949	2	859897.92
4	653385.5	2684.06	572242	4	2288966.37
2	865282.3	3620.36	653113	2	1306225.89
4	1740453	4556.66	672563	4	2690252.06
2	890551.9	5492.96	630592	2	1261183.62
4	1272217	5492.96	450423	4	1801690.88
2	381665.1	5492.96	270254	2	540507.264
4	254443.4	5492.96	90084.5	4	360338.176
2	-127222	5492.96	-90085	2	-180169.09
4	-763330	5492.96	-270254	4	-1081014.5
2	-636108	5492.96	-450423	2	-900845.44
4	-1781104	5492.96	-630592	4	-2522367.2
2	-1144995	5492.96	-810761	2	-1621521.8
4	-2798877	5492.96	-990930	4	-3963719.9
2	-1256994	4244.56	-904940	2	-1809880.4
4	-905859	2996.16	-737055	4	-2948221.4
2	-348757	1747.76	-486926	2	-973851.87
4	-50822.6	499.36	-155501	4	-622002.82
1	0	0	0	1	0
sum8= -3.280E+06				sum9= -4.60959E+06	

Tabel 5. kalkulasi m, lyy

Station no	weigh/foot	mn	SM	prd 3x4	ξ^2	mn. ξ^2 3.6	SM	prd 7.8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	294000	9138.95	1	9138.95	97094.6	8.9E+08	1	8.9E+08
1	640000	19894.3	4	79577.2	77729.4	1.5E+09	4	6.2E+09
2	840000	26111.3	2	52222.6	60516	1.6E+09	2	3.2E+09
3	1770000	55020.2	4	220081	45454.2	2.5E+09	4	1E+10
4	5440000	169102	2	338203	32544.2	5.5E+09	2	1.1E+10
5	7400000	230028	4	920112	21785.8	5E+09	4	2E+10
6	7400000	230028	2	460056	13179	3E+09	2	6.1E+09
7	7400000	230028	4	920112	6724	1.5E+09	4	6.2E+09
8	8400000	261113	2	522226	2420.64	6.3E+08	2	1.3E+09
9	8400000	261113	4	1044451	268.96	7E+07	4	2.8E+08
10	8400000	261113	2	522226	268.96	7E+07	2	1.4E+08
11	8400000	261113	4	1044451	2420.64	6.3E+08	4	2.5E+09
12	8400000	261113	2	522226	6724	1.8E+09	2	3.5E+09
13	8400000	261113	4	1044451	13179	3.4E+09	4	1.4E+10
14	8400000	261113	2	522226	21785.8	5.7E+09	2	1.1E+10
15	8400000	261113	4	1044451	32544.2	8.5E+09	4	3.4E+10
16	6400000	198943	2	397886	45454.2	9E+09	2	1.8E+10
17	740000	23002.8	4	92011.2	60516	1.4E+09	4	5.6E+09
18	540000	16785.8	2	33571.7	77618	1.3E+09	2	2.6E+09
19	380000	11812.2	4	47249	96970	1.1E+09	4	4.6E+09
20	124000	3854.52	1	3854.52	118611	4.6E+08	1	4.6E+08
				sum10=	9831644			
								sum11= 1.61E+11

Tabel 6. kalkulasi untuk exiting force dan moments (F &M)

Station no	ξ	$k\xi$	$\sin k\xi$ (rad)	$\cos k\xi$ (rad)	Tm	$2.\pi.Tm/Lw$	e -exp $2\pi Tm/Lw$	cn
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	311.6	4.0508	-0.789	-0.6144	0	0	1	0
1	278.8	3.6244	-0.4643	-0.8857	28.3139	0.36808	0.69206	811.46
2	246	3.198	-0.0564	-0.9984	42.4688	0.55209	0.57574	1747.76
3	213.2	2.7716	0.36161	-0.9323	40.6087	0.52791	0.58983	2684.06
4	180.4	2.3452	0.71484	-0.6993	37.4706	0.48712	0.61439	3620.36
5	147.6	1.9188	0.94006	-0.341	39.7143	0.51629	0.59673	4556.66
6	114.8	1.4924	0.99693	0.07832	37.752	0.49078	0.61215	5492.96
7	82	1.066	0.87527	0.48363	37.752	0.49078	0.61215	5492.96
8	49.2	0.6396	0.59687	0.80233	37.752	0.49078	0.61215	5492.96
9	16.4	0.2132	0.21159	0.97736	37.752	0.49078	0.61215	5492.96

10	-16.4	-0.2132	-0.2116	0.97736	37.752	0.49078	0.61215	5492.96
11	-49.2	-0.6396	-0.5969	0.80233	37.752	0.49078	0.61215	5492.96
12	-82	-1.066	-0.8753	0.48363	37.752	0.49078	0.61215	5492.96
13	-114.8	-1.4924	-0.9969	0.07832	37.752	0.49078	0.61215	5492.96
14	-147.6	-1.9188	-0.9401	-0.341	37.752	0.49078	0.61215	5492.96
15	-180.4	-2.3452	-0.7148	-0.6993	37.752	0.49078	0.61215	5492.96
16	-213.2	-2.7716	-0.3616	-0.9323	39.2051	0.50967	0.6007	4244.56
17	-246	-3.198	0.05638	-0.9984	45.5	0.5915	0.5535	2996.16
18	-278.6	-3.6218	0.46196	-0.8869	44.7105	0.58124	0.55921	1747.76
19	-311.4	-4.0482	0.78742	-0.6164	42.4375	0.55169	0.57598	499.36
20	-344.4	-4.4772	0.97247	-0.233	0	0	1	0

cn.ζa	an	an(- ζa.We2)		dan/dξ	(u.ζa.We .14	bn.a.W e)	
			12+10				16-15
10	11	12	13	14	15	16	17
0	0	0	0	21.44342	897.836	0	-897.84
4243.936	13363.5	-6508	-2264.1	-602.295	-25218	329.461	25547.5
9140.785	39510.5	-19242	-10101	-1040.87	-43581	797.214	44378.6
14037.63	81644.8	-39761	-25723	-1948.63	-81589	1222.03	82811.2
18934.48	167341	-81495	-62560	-1569.31	-65707	3825.18	69532.3
23831.33	184592	-89896	-66065	-899.045	-37643	4701.94	42344.9
28728.18	226318	-110217	-81489	-636.072	-26632	6186.54	32818.9
28728.18	226318	-110217	-81489	0	0	6186.54	6186.54
28728.18	226318	-110217	-81489	0	0	6186.54	6186.54
28728.18	226318	-110217	-81489	0	0	6186.54	6186.54
28728.18	226318	-110217	-81489	0	0	6186.54	6186.54
28728.18	226318	-110217	-81489	0	0	6186.54	6186.54
28728.18	226318	-110217	-81489	0	0	6186.54	6186.54
28728.18	226318	-110217	-81489	0	0	6186.54	6186.54
28728.18	226318	-110217	-81489	0	0	6186.54	6186.54
28728.18	226318	-110217	-81489	611.8677	25618.9	6186.54	-19432
22199.05	186180	-90669	-68470	1605.443	67219.9	4701.94	-62518
15669.92	121001	-58927	-43258	1930.199	80817.4	1468.34	-79349
9140.785	59558.5	-29005	-19864	1673.002	70048.6	998.325	-69050
2611.653	11921.3	-5805.7	-3194	907.904	38013.9	65.0787	-37949
0	0	0	0	180.6255	7562.79	0	-7562.8

							SM	
13x4	17x5	18+19	13x5	17x4	21-22	20x8		24x25
18	19	20	21	22	23	24	25	26
0	551.605	551.6048	0	708.408	-708.41	551.605	1	551.605
1051.15	-22627	-21576.2	2005.31	-11861	13866.2	-14932	4	-59728
569.46	-44308	-43738.5	10084.8	-2501.9	12586.7	-25182	2	-50364
-9301.8	-77207	-86509.2	23982.7	29945.2	-5962.6	-51026	4	-204104
-44721	-48623	-93343.8	43747.9	49704.3	-5956.5	-57350	2	-114700
-62105	-14441	-76545.1	22529.5	39806.6	-17277	-45677	4	-182708
-81238	2570.25	-78668.2	-6381.9	32718.1	-39100	-48157	2	-96314
-71325	2991.99	-68332.9	-39410	5414.91	-44825	-41830	4	-167320
-48639	4963.68	-43674.9	-65381	3692.59	-69074	-26736	2	-53471
-17242	6046.47	-11195.6	-79644	1309	-80953	-6853.4	4	-27414
17242.1	6046.47	23288.55	-79644	-1309	-78335	14256.1	2	28512.2
48638.5	4963.68	53602.21	-65381	-3692.6	-61689	32812.7	4	131251
71324.9	2991.99	74316.86	-39410	-5414.9	-33995	45493.2	2	90986.3
81238.4	484.506	81722.93	-6381.9	-6167.5	-214.33	50026.8	4	200107
76603.9	-2109.7	74494.15	27789.4	-5815.7	33605.1	45601.7	2	91203.4
58251.2	13588.9	71840.09	56984.2	13891	43093.2	43977	4	175908
24759.5	58287.4	83046.85	63837	22607	41230	49885.9	2	99771.8
-2438.8	79222.9	76784.12	43188.8	-4473.5	47662.3	42499.7	4	169999
-9176.5	61240.6	52064.08	17617.5	-31899	49516.2	29114.6	2	58229.1
-2515	23392.5	20877.45	1968.85	-29882	31850.4	12024.9	4	48099.7
0	1762.33	1762.332	0	-7354.6	7354.59	1762.33	1	1762.33
							sum12	139706.1

	SM	prd	24x2	SM			SM	prd
23x8		27.28			30X31	27X2		33x34
27	28	29	30	31	32	33	34	35
-708.41	1	-708.41	171880.1	1	171880	-220740	1	-220740
9596.26	4	38385	-4163052	4	-2E+07	2675438	4	1.1E+07
7246.72	2	14493.4	-6194809	2	-1E+07	1782693	2	3565387
-3516.9	4	-14068	-1.1E+07	4	-4E+07	-749808	4	-3E+06
-3659.6	2	-7319.2	-1E+07	2	-2E+07	-660194	2	-1E+06
-10310	4	-41239	-6741926	4	-3E+07	-2E+06	4	-6E+06
-23935	2	-47870	-5528403	2	-1E+07	-3E+06	2	-5E+06
-27440	4	-109759	-3430064	4	-1E+07	-2E+06	4	-9E+06
-42284	2	-84567	-1315392	2	-3E+06	-2E+06	2	-4E+06
-49555	4	-198221	-112396	4	-449583	-812707	4	-3E+06
-47953	2	-95905	-233800	2	-467600	786424	2	1572848
-37763	4	-151051	-1614383	4	-6E+06	1857928	4	7431711
-20810	2	-41621	-3730439	2	-7E+06	1706447	2	3412894
-131.2	4	-524.82	-5743075	4	-2E+07	15062.2	4	60248.8
20571.4	2	41142.8	-6730809	2	-1E+07	-3E+06	2	-6E+06

26379.6	4	105518	-7933450	4	-3E+07	-5E+06	4	-2E+07
24766.7	2	49533.3	-1.1E+07	2	-2E+07	-5E+06	2	-1E+07
26380.9	4	105524	-1E+07	4	-4E+07	-6E+06	4	-3E+07
27689.8	2	55379.6	-8111317	2	-2E+07	-8E+06	2	-2E+07
18345.1	4	73380.5	-3744563	4	-1E+07	-6E+06	4	-2E+07
7354.59	1	7354.59	-606947	1	-606947	-3E+06	1	-3E+06
	sum13	-302143		Sum 14 =	-3.3E+08		sum15=	-1.1E+08

Added mass :

$$a_z = 1/3 * S * \text{Sum1} = 10,22 \times 10^7 \text{ lb-sec}^2/\text{ft}$$

$$A_{yy} = 1/3 * S * \text{Sum2} = 1,98 \times 10^{12} \text{ lb-sec}^2\text{-ft}$$

Damping coefficient :

$$b = 1/3 * S * \text{Sum3} = 1,6 \times 10^6 \text{ lb-sec}/\text{ft}$$

$$B = 1/3 * S * \text{Sum4} = 2,66 \times 10^{10} \text{ ft-lb-sec}/\text{rad}$$

Restoring force coefficient for heaving :

$$c = 1/3 * S * \text{Sum5} = 2,56 \times 10^6 \text{ lb}/\text{ft}$$

Restoring moment coefficient for pitching :

$$C = 1/3 * S * \text{Sum6} - uE = 5,31 \times 10^{10} \text{ ft-lb}/\text{rad}$$

Coupling term :

$$d = 1/3 * S * \text{Sum7} = 2,55 \times 10^9 \text{ lb-sec}^2$$

$$D = d$$

$$e = (-1/3 * S * \text{Sum8}) + ua = 2,718 \times 10^9 \text{ lb-sec}^2/\text{sec}$$

$$E = (-1/3 * S * \text{Sum8}) - ua = -2,646 \times 10^9 \text{ lb-sec}^2/\text{sec}$$

$$h = (-1/3 * S * \text{Sum9}) + ub = 9,23 \times 10^7 \text{ lb}$$

$$H = (-1/3 * S * \text{Sum9}) = 5,04 \times 10^7 \text{ lb}$$

Ship mass :

$$m = 1/3 * S * \text{Sum10} = 10,75 \times 10^7 \text{ lb-sec}^2/\text{ft}$$

ship mass moment of inersia :

$$I_{yy} = 1/3 * S * \text{Sum11} = 1,76 \times 10^{12} \text{ lb-sec}^2\text{-ft}$$

Exciting force component :

$$F1 = 1/3 * S * \text{Sum12} = 1,53 \times 10^6 \text{ lb}$$

$$F2 = 1/3 * S * \text{Sum13} = -3,3 \times 10^6 \text{ lb}$$

Excitng moment componet :

$$M1 = 1/3 * S * \text{Sum14} = -3,36 \times 10^9 \text{ ft-lb}$$

$$M2 = 1/3 * S * \text{Sum15} = -1,18 \times 10^9 \text{ ft-lb}$$

Program MATLAB untuk gerak couple Heaving-pitching kapal

```
» %-----
% Perhitungan couple heaving-pitching kapal (1)
% yang berlayar pada section 1
%-----

m = 10.75E+07      % massa kapal (lb-sec2/ft)
a = 10.22E+07      % massa tambah heaving kapal (lb-sec2/ft)
b = 1.6E+06        % koefisien damping untuk heaving (lb-sec/ft)
w = 0.305          % frekuensi encountering (rad/sec)
c = 2.56E+06        % koefisien gaya pengembali untuk heaving (lb/ft)
Iyy = 1.758E+12     % moment inersia massa kapal (lb-sec2-ft)
Ayy = 1.98E+12      % moment inersia massa tambah untuk pitching (lb-sec/ft)
B = 2.66E+10        % koefisien damping untuk pitching (ft-lb-sec/rad)
C = 5.31E+10        % koefisien moment pengembali untuk pitching (ft-lb/rad)
d = 2.55E+09
e = 2.72E+09
h = 9.23E+07
D = d
E = -2.65E+09
H = 5.04E+07 % d,e,h,D,E,H adalah istilah-istilah couple
F1 = 1.53E+06      % komponen gaya luar, F1 (lb)
F2 = -3.3E+06      % komponen gaya luar, F2 (lb)
M1 = -3.56E+09     % komponen moment luar (ft-lb)
M2 = -1.18E+09     % komponen moment luar (ft-lb)

%-----
% perhitungan dengan rumus-rumus Battacharya
%-----

P = -(m+a)*(w^2) + (i*b*w) + c      % huruf i menunjukan bagian imajiner
S = -(Iyy+Ayy)*(w^2) + (i*B*w) + C
Q = -(d*(w^2)) + (i*e*w) + h
R = -(D*(w^2)) + (i*E*w) + H

%-----
% hasil perhitungan kemudian dipakai untuk mencari nilai 1
%-----

A = P*S
F = Q*R
G = (A-F)
J = conj(G)
K = G * J
```



```
%-----  
% mencari nilai 2
```

```
%-----  
Fa = F1 + i*F2  
Ma = M1 + i*M2  
L1 = Fa*S  
N1 = Ma*Q  
T1 = L1-N1  
Ta = T1*J
```

```
%-----  
% mencari nilai 3  
%-----  
L2 = Ma*P  
N2 = Fa*R  
T2 = L2-N2  
Tb = T2*J
```

```
%-----  
% mencari nilai amplitudo heaving (Za)  
%-----  
Z = Ta/K  
Z1 = real(Z)  
Z2 = imag(Z)  
Za = (((Z1^2)+(Z2^2))^(1/2))
```

```
%-----  
% mencari nilai amplitudo pitching (Ua)  
%-----  
U = Tb/K  
U1 = real(U)  
U2 = imag(U)  
Ua = (((U1^2)+(U2^2))^(1/2))  
Ua_deg = rad2deg(Ua)
```

```
%-----  
% sudut phase gerakan pitching v  
%-----  
x = U1/Ua  
v = acos(x)  
end
```

m =	50400000
107500000	F1 =
a =	1530000
102200000	F2 =
b =	-3300000
1600000	M1 =
w =	-3.5600e+009
0.3050	M2 =
c =	-1.1800e+009
2560000	P =
l _{yy} =	-1.6947e+007 +4.8800e+005i
1.7580e+012	S =
A _{yy} =	-2.9463e+011 +8.1130e+009i
1.9800e+012	Q =
B =	-1.4491e+008 +8.2960e+008i
2.6600e+010	R =
C =	-1.8681e+008 -8.0825e+008i
5.3100e+010	A =
d =	4.9892e+018 -2.8127e+017i
2.5500e+009	F =
e =	6.9760e+017 -3.7854e+016i
2.7200e+009	G =
h =	4.2916e+018 -2.4342e+017i
92300000	J =
D =	4.2916e+018 +2.4342e+017i
2.5500e+009	K =
E =	1.8477e+037
-2.6500e+009	F _a =
H =	1.5300e+006 -3.3000e+006i

Ma =	-0.4953
-3.5600e+009 -1.1800e+009i	Z2 =
L1 =	0.8497
-4.2401e+017 +9.8468e+017i	Za =
N1 =	0.9835
1.4948e+018 -2.7824e+018i	U =
T1 =	0.0146 + 0.0052i
-1.9188e+018 +3.7671e+018i	U1 =
Ta =	0.0146
-9.1518e+036 +1.5700e+037i	U2 =
L2 =	0.0052
6.0908e+016 +1.8261e+016i	Ua =
N2 =	0.0155
-2.9531e+015 -6.2014e+014i	Ua_deg =
T2 =	0.8876
6.3861e+016 +1.8881e+016i	x =
Tb =	0.9414
2.6947e+035 +9.6573e+034i	v =
Z =	0.3441
-0.4953 + 0.8497i	
Z1 =	



LAMPIRAN C

Prediksi tinggi gelombang di APBS

Hasil Prediksi Tinggi Gelombang di Lokasi Kritis Perairan Surabaya

kedalam dan Kecepatan Arus

URAIAN	SATUAN	SECT. 1	SECT. 2	SECT. 3	SECT. 4	SECT. 5
LWS	m	20	15	10	20	15
Arus						
maks	m/s	0.5	0.7	0.8	0.62	0.75
arah	deg	6	290	340	150	290
min	m/s	0.03	0.01	0.01	0.01	0.04
arah	deg	170	300	340	180	130

Tinggi Gelombang Significant

SECT 1

No	U angin (knot)	Arah angin							
		Tenggara		Timur		Timur Laut		Utara	
		H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)
1	5	0.088	2.327	0.035	1.455	0.591	6.052	0.764	6.842
2	10	0.190	2.897	0.074	1.811	1.237	7.534	1.644	8.517
3	15	0.283	3.245	0.111	2.029	1.808	8.440	2.445	9.541
4	20	0.369	3.500	0.144	2.189	2.328	9.103	3.186	10.291

SECT 2

No	U angin (knot)	Arah angin					
		Selatan		Tenggara		Timur	
		H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)
1	5	0.084	2.187	0.086	2.213	0.051	1.698
2	10	0.180	2.722	0.185	2.755	0.109	2.114
3	15	0.268	3.049	0.275	3.086	0.162	2.368
4	20	0.350	3.289	0.358	3.328	0.211	2.554

SECT 3

No	U angin (knot)	Arah angin					
		Timur		Timur Laut		Utara	
		H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)
1	5	0.077	1.997	0.085	2.089	0.226	3.412
2	10	0.166	2.485	0.182	2.600	0.486	4.247
3	15	0.248	2.784	0.271	2.913	0.723	4.758
4	20	0.323	3.003	0.353	3.141	0.942	5.132

SECT 4

No	U angin (knot)	Arah angin									
		Selatan		Tenggara		Timur		Timur Laut		Utara	
		H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)
1	5	0.063	1.966	0.067	2.034	0.042	1.610	0.058	1.893	0.152	3.051
2	10	0.136	2.448	0.145	2.532	0.091	2.004	0.126	2.356	0.327	3.798
3	15	0.202	2.742	0.216	2.836	0.135	2.245	0.187	2.639	0.486	4.255
4	20	0.263	2.957	0.282	3.059	0.176	2.422	0.244	2.847	0.634	4.589

SECT 5

No	U angin (knot)	Arah angin					
		Timur		Timur Laut		Utara	
		H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)	H's (m)	Ts (det)
1	5	0.044	1.586	0.072	2.030	0.261	3.855
2	10	0.095	1.974	0.155	2.527	0.561	4.799
3	15	0.141	2.211	0.231	2.831	0.834	5.375
4	20	0.184	2.385	0.301	3.053	1.087	5.798

Tabel . Perhitungan Gelombang Angin Lokasi Perairan Surabaya
SECTION C-1

ANGIN DARI ARAH TENGGARA								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	Ts (detik)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	11804	0.267	2.395
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	11804	0.505	2.961
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	11804	0.700	3.301
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	11804	0.922	3.618
ANGIN DARI ARAH TIMUR								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (Km)	Hs (m)	Ts (detik)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	2886	0.132	1.498
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	2886	0.250	1.851
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	2886	0.346	2.064
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	2886	0.456	2.263
ANGIN DARI ARAH TIMUR LAUT								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (Km)	Hs (m)	Ts (detik)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	207634	1.121	6.229
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	207634	2.119	7.701
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	207634	2.936	8.586
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	207634	3.866	9.410
ANGIN DARI ARAH UTARA								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	Ts (detik)
1	5	2.575	3.0583	4.740301	4.814	300000	1.348	7.042
2	10	5.15	6.1165	7.951472	9.095	300000	2.547	8.706
3	15	7.725	9.1748	10.3675	12.605	300000	3.529	9.706
4	20	10.3	12.2330	12.96702	16.598	300000	4.647	10.638

Tabel . Perhitungan Gelombang Angin Lokasi Perairan Surabaya

ANGIN DARI ARAH SELATAN								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	9794	0.244	2.251
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	9794	0.460	2.782
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	9794	0.638	3.102
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	9794	0.840	3.400
ANGIN DARI ARAH TENGGARA								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (Km)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	10148	0.248	2.277
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	10148	0.468	2.815
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	10148	0.649	3.139
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	10148	0.855	3.441
ANGIN DARI ARAH TIMUR								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (Km)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	4586	0.167	1.748
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	4586	0.315	2.161
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	4586	0.436	2.409
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	4586	0.575	2.640

Tabel . Perhitungan Gelombang Angin Lokasi Perairan Surabaya

ANGIN DARI ARAH TIMUR								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	7454	0.212	2.055
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	7454	0.401	2.540
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	7454	0.556	2.832
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	7454	0.733	3.104
ANGIN DARI ARAH TIMUR LAUT								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	8534	0.227	2.150
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	8534	0.430	2.658
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	8534	0.595	2.963
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	8534	0.784	3.248
ANGIN DARI ARAH UTARA								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	37201	0.475	3.512
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	37201	0.897	4.341
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	37201	1.243	4.840
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	37201	1.637	5.305

Tabel . Perhitungan Gelombang Angin Lokasi Perairan Surabaya

SECTION C-4

ANGIN DARI ARAH SELATAN								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	7120	0.208	2.024
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	7120	0.392	2.502
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	7120	0.544	2.789
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	7120	0.716	3.057
ANGIN DARI ARAH TENGGARA								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (Km)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	7880	0.218	2.093
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	7880	0.413	2.588
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	7880	0.572	2.885
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	7880	0.753	3.162
ANGIN DARI ARAH TIMUR								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (Km)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	3909	0.154	1.657
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	3909	0.291	2.049
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	3909	0.403	2.284
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	3909	0.530	2.503
ANGIN DARI ARAH TIMUR LAUT								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.0583	4.740301	4.814	6349	0.196	1.948
2	10	5.15	6.1165	7.951472	9.095	6349	0.370	2.408
3	15	7.725	9.1748	10.3675	12.605	6349	0.513	2.685
4	20	10.3	12.2330	12.96702	16.598	6349	0.676	2.943
ANGIN DARI ARAH UTARA								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.0583	4.740301	4.814	26607	0.401	3.140
2	10	5.15	6.1165	7.951472	9.095	26607	0.758	3.882
3	15	7.725	9.1748	10.3675	12.605	26607	1.051	4.328
4	20	10.3	12.2330	12.96702	16.598	26607	1.384	4.744

- Tabel . Perhitungan Gelombang Angin Lokasi Perairan Surabaya
SECTION C-5

ANGIN DARI ARAH TIMUR								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	3735	0.150	1.632
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	3735	0.284	2.018
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	3735	0.394	2.250
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	3735	0.519	2.466
ANGIN DARI ARAH TIMUR LAUT								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (Km)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	7834	0.218	2.089
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	7834	0.412	2.583
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	7834	0.570	2.880
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	7834	0.751	3.156
ANGIN DARI ARAH UTARA								
No	U (knot)	U (m/dt)	U10(m/dt)	U(m/dt)	Ua	Feff (Km)	Hs (m)	Ts (m)
1	5	2.575	3.058259	4.740301	4.814	53649	0.570	3.967
2	10	5.15	6.116517	7.951472	9.095	53649	1.077	4.905
3	15	7.725	9.174776	10.3675	12.605	53649	1.492	5.468
4	20	10.3	12.23303	12.96702	16.598	53649	1.955	5.994



LAMPIRAN D

Arus kunjungan kapal, dimensi kapal dan arus
barang di Tanjung Perak (1995-1999)



LAMPIRAN D

Arus kunjungan kapal, dimensi kapal dan arus
barang di Tanjung Perak (1995-1999)

DATA ARUS KUNJUNGAN KAPAL DI TANJUNG PERAK SECARA KESELURUHAN
TAHUN 1995 - 1999

URAIAN	SATUAN	1995		1996		1997		1998		1999		Rata-2/ thn
		Jumlah	prosentase	Jumlah	prosentase	Jumlah	prosentase	Jumlah	prosentase	Jumlah	prosentase	
Pelayaran LN - Reguler/Liner	Unit	4,007	27.9%	3,883	25.9%	4,681	31.0%	5,077	33.9%	4,810	33.7%	
	GRT	17,179,331	38.2%	17,887,994	35.8%	22,755,063	42.0%	22,574,701	44.9%	23,800,838	44.5%	
Pelayaran LN - Non-Reguler/Tramper	Unit	931	6.5%	964	6.4%	955	6.4%	780	5.2%	719	5.0%	
	GRT	7,935,614	17.6%	8,771,805	17.6%	8,850,689	16.3%	6,808,577	13.2%	7,051,415	13.2%	
Sub-total LN	Unit	4,938	34.4%	4,847	32.3%	5,636	37.4%	5,857	39.2%	5,529	38.7%	5,367
	GRT	25,114,945	55.8%	26,659,799	53.4%	31,605,752	58.3%	29,383,278	58.1%	30,852,253	57.7%	28,883,208
	GRT/Unit	5,086		5,500		5,628		4,983		5,580		5,358
Pelayaran Dalam Negeri	Unit	7,267	50.6%	8,170	54.5%	7,702	51.3%	7,293	48.8%	7,380	51.7%	7,562
	GRT	19,535,712	43.4%	22,951,042	46.0%	22,064,521	40.7%	20,610,691	41.0%	22,364,150	41.8%	21,605,223
	GRT/Unit	2,688		2,809		2,866		2,828		3,030		2,844
Pelayaran Rakyat	Unit	2,119	14.7%	1,956	13.0%	1,654	11.0%	1,688	11.3%	1,348	9.4%	1,783
	GRT	269,295	0.6%	275,979	0.6%	214,644	0.4%	179,729	0.4%	195,093	0.4%	226,268
	GRT/Unit	127		141		130		107		145		130
Pelayaran Perintis	Unit	23	0.2%	12	0.1%	12	0.1%	-	0.0%	-	0.0%	9
	GRT	10,248	0.0%	5,977	0.0%	4,081	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	4,081
	GRT/Unit	445		498		340						428
Pelayaran Negara/Tamu	Unit	23	0.2%	8	0.1%	38	0.2%	121	0.8%	28	0.2%	43
	GRT	64,810	0.1%	32,128	0.1%	290,480	0.5%	278,955	0.6%	65,008	0.1%	148,878
	GRT/Unit	2,818		4,016		8,069		2,289		2,322		3,903
Total	Unit	14,370	100%	14,993	100%	15,020	100%	14,967	100%	14,288	100%	14,728
	GRT	44,995,108	100%	49,924,923	100%	64,179,478	100%	60,250,663	100%	63,476,804	100%	60,888,333
Rata-2 (total)	Unit/ bln	1,197.00		1,249.42		1,251.87		1,246.42		1,190.42		1,226.98
	Unit/ hari	39.00		41.00		41.00		41.00		39.00		40.20
	Unit/ jam	1.00		1.00		1.00		1.00		1.00		1.00
	GRT/ Unit	963.84		974.60		1,055.75		983.32		1,151.86		1,028
Pertumbuhan	Unit		4.34%		0.18%		-0.42%		-4.49%			-0.10%
	GRT		10.96%		8.52%		-7.25%		8.42%			4.66%
	GRT/ Unit		1.12%		8.33%		-6.86%		17.14%			4.93%

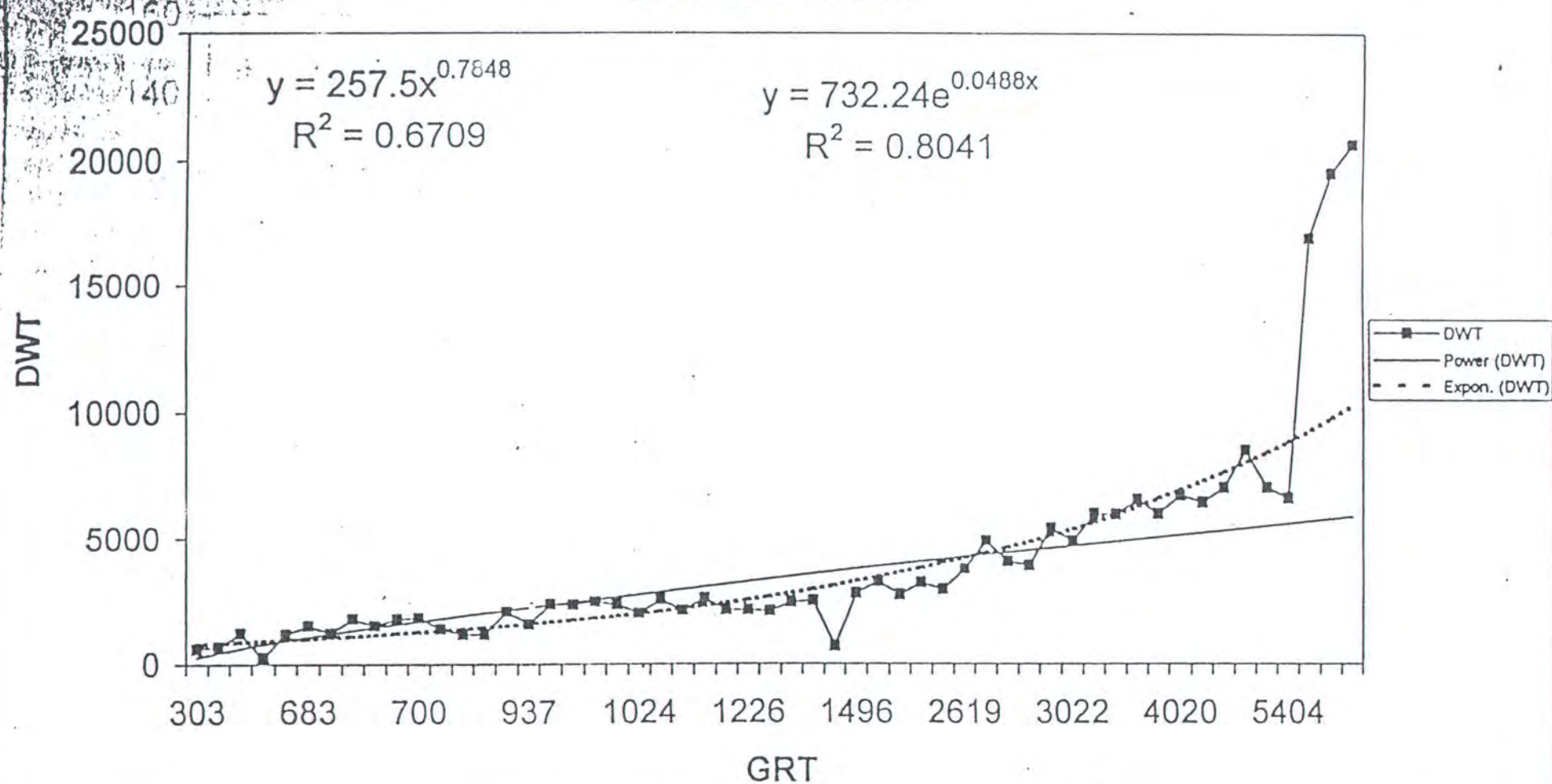
REALISASI ARUS BARANG DAN PETIKEMAS
CABANG TANJUNG PERAK
Tahun 1995 - 1999

No	URAIAN	SATUAN	1995	1996	1997	1998	1999
1	General Cargo	Ton	3479152	3456073	3996230	3531882	3164557
		m ³	5363219	5365137	4930869	2829464	2592590
2	Bag Cargo	Ton	2399414	2300770	1657374	3126470	2776606
3	Curah Kering	Ton	3719092	3141387	3226692	3501829	4571137
4	Curah Cair	Ton	2399414	2605622	2599874	2504160	1868169
5	Petikemas	Box	126395	205095	285815	195889	205107
		TEU's	133231	207923	295011	207551	215477
	TOTAL	Ton	11997072	11503852	11480170	12664341	12380469
		m ³	5363219	5365137	4930869	2829464	2592590
		Box	126395	205095	285815	195889	205107
		TEU's	133231	207923	295011	207551	215477

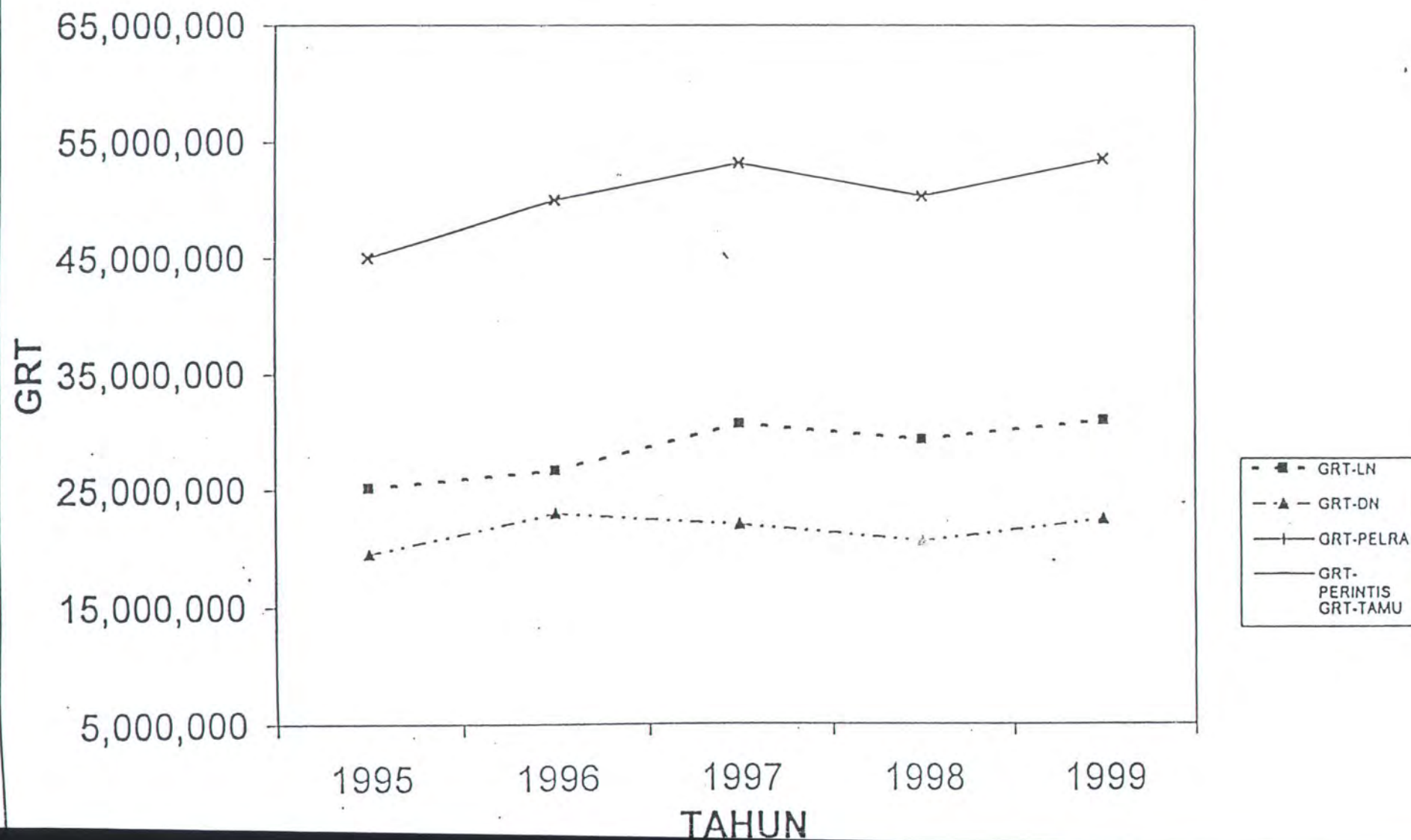
PREDIKSI UKURAN KAPAL MAKSIMUM
DI TG. PERAK

Jenis kapal	GT	DWT	Loa	Lpp	B	T
	(ton)	(Ton)	(m)	(m)	(m)	(m)
Barang (General Cargo)	32520	52370	210	200	27.8	12
Petikemas (Container)	30061	41571	198	188	25.9	11
Muatan Minyak (Tanker)	12159	20600	149	142	20.7	10
Muatan Curah Kering (Bulk Carrier)	32520	50655	203	193	27.5	12
Kapal Roro/Ferry	5532	7903	102	97	15.2	6
Kapal Penumpang	14649	14500	149	142	18.5	10
Tongkang	3789	5000	95	90	13.1	7
LCT	989	800	74	70	7.3	5
Tunda	337	1000	38	36	7.8	5

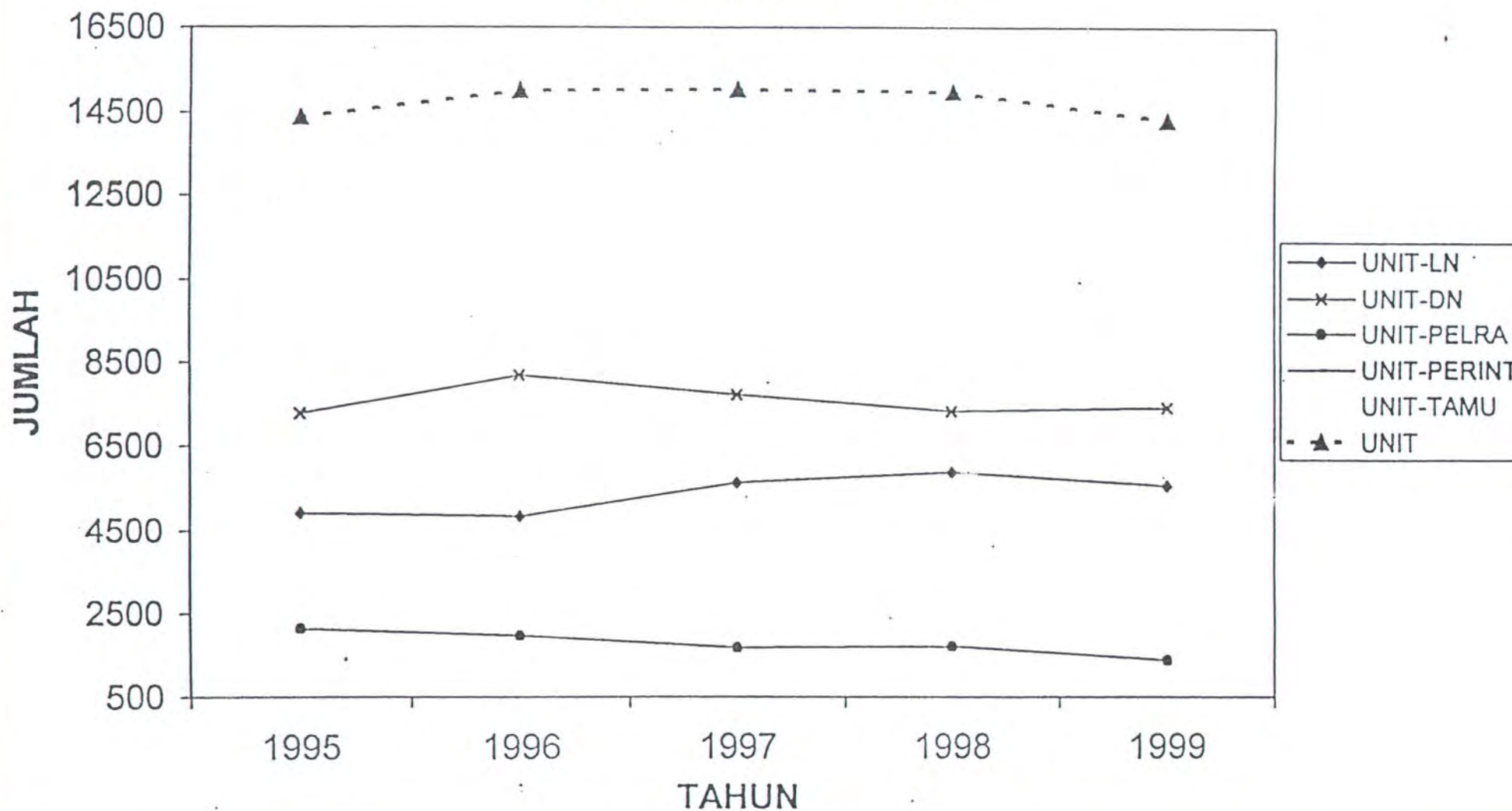
HUBUNGAN GRT vs DWT KAPAL TANKER DI TG. PERAK



ARUS KUNJUNGAN KAPAL DI TG. PERAK MENURUT JENIS PELAYARAN TAHUN 1995 - 1999



ARUS KUNJUNGAN KAPAL DI TG. PERAK MENURUT JENIS PELAYARAN TAHUN 1995 - 1999



HUBUNGAN GRT vs Loa KAPAL TANKER DI TG. PERAK

